

Umweltforschungsplan  
des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Grundsatzfragen Technik, Biotechnologie, Stoffflüsse, Investitionsprogramm

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 202 66 326

**Entlastungseffekte für die Umwelt durch Substitution  
konventioneller chemisch-technischer Prozesse und  
Produkte durch biotechnische Verfahren  
- Anhang zum Schlussbericht -**

Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik – BIfA GmbH  
Abt. Umwelttoxikologie, -hygiene und -biotechnologie

Dr. Klaus Hoppenheidt und Prof. Dr. Wolfgang. Mücke

und

Abt. Verfahrens- und Systemtechnik

René Peche, Dr. Dieter Tronecker, Udo Roth, Eduard Würdinger, Sarah Hottenroth  
und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rommel

IM AUFTRAG DES UMWELTBUNDESAMTES

Juni 2004



## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>                                                                                                              | <b>III</b> |
| <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>                                                                                                           | <b>VII</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis .....</b>                                                                                                             | <b>IX</b>  |
| <b>1      Anhang zum Verfahrensvergleich 1 -<br/>         Biotechnische und Chemisch-technische<br/>         Vitamin B2-Produktion .....</b> | <b>1</b>   |
| <b>1.1    Vitamin B2-Produktion der DSM Nutritional Products<br/>         (vormals Roche Vitamine GmbH) .....</b>                            | <b>1</b>   |
| 1.1.1    Graphische Darstellung der untersuchten Szenarien .....                                                                             | 1          |
| 1.1.2    Datenherkunft und -qualität .....                                                                                                   | 7          |
| 1.1.3    Überblick Transporte .....                                                                                                          | 34         |
| 1.1.4    Stoff- und Energiebilanzen (Sachbilanz) .....                                                                                       | 39         |
| 1.1.5    Daten zur Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und<br>zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung) .....                   | 58         |
| <b>1.2    Vitamin B2-Produktion der BASF AG.....</b>                                                                                         | <b>62</b>  |
| 1.2.1    Stoff- und Energiebilanzen (Sachbilanz) .....                                                                                       | 62         |
| 1.2.2    Daten zur Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und<br>zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung) .....                   | 64         |
| <b>2      Anhang zum Verfahrensvergleich 2 -<br/>         Biotechnische und Chemisch-technische<br/>         Lederaufbereitung .....</b>     | <b>69</b>  |
| <b>2.1    Grundlagen der Lederherstellung .....</b>                                                                                          | <b>69</b>  |
| 2.1.1    Frühere und heutige Gerbverfahren .....                                                                                             | 69         |
| 2.1.2    Lederarten .....                                                                                                                    | 69         |
| 2.1.3    Prozessschritte der Lederherstellung .....                                                                                          | 70         |
| 2.1.3.1    Vorsortierung (Sorting) .....                                                                                                     | 70         |

## IV

|            |                                                                                                                      |            |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.1.3.2    | Zurechtschneiden ( <i>Trimming</i> ) .....                                                                           | 70         |
| 2.1.3.3    | Trocknen/Salzen, haltbar machen ( <i>Curing</i> ) .....                                                              | 71         |
| 2.1.3.4    | Lagern ( <i>Storing</i> ).....                                                                                       | 71         |
| 2.1.3.5    | Weichen ( <i>Soaking</i> ) .....                                                                                     | 71         |
| 2.1.3.6    | Äschern - Enthaaren und Hautaufschluss ( <i>Liming, Unhairing</i> ) .....                                            | 72         |
| 2.1.3.7    | Entfleischen ( <i>Fleshing</i> ).....                                                                                | 73         |
| 2.1.3.8    | Spalten ( <i>Splitting</i> ) .....                                                                                   | 73         |
| 2.1.3.9    | Entkälken ( <i>Deliming</i> ) .....                                                                                  | 73         |
| 2.1.3.10   | Beizen ( <i>Bating</i> ) .....                                                                                       | 74         |
| 2.1.3.11   | Entfetten ( <i>Degreasing</i> ) .....                                                                                | 74         |
| 2.1.3.12   | Pickeln ( <i>Pickling</i> ) .....                                                                                    | 74         |
| 2.1.3.13   | Gerben ( <i>Tanning</i> ) .....                                                                                      | 74         |
| 2.1.3.14   | Entwässern ( <i>Wringling, Draining, Samming, Setting</i> ) .....                                                    | 75         |
| 2.1.3.15   | Spalten ( <i>Splitting</i> ) .....                                                                                   | 75         |
| 2.1.3.16   | Falzen ( <i>Shaving</i> ) .....                                                                                      | 75         |
| 2.1.3.17   | Neutralisieren ( <i>Neutralisation</i> ).....                                                                        | 75         |
| 2.1.3.18   | Bleichen ( <i>Bleaching</i> ) .....                                                                                  | 76         |
| 2.1.3.19   | Nochmaliges Gerben ( <i>Retanning</i> ).....                                                                         | 76         |
| 2.1.3.20   | Färben ( <i>Dyeing</i> ).....                                                                                        | 76         |
| 2.1.3.21   | Fetten ( <i>Fatliquoring</i> ) .....                                                                                 | 76         |
| 2.1.3.22   | Trocknen ( <i>Drying</i> ).....                                                                                      | 77         |
| 2.1.3.23   | Stollen ( <i>Staking</i> ) .....                                                                                     | 77         |
| 2.1.3.24   | Zurichten, Endbehandlung ( <i>Finishing</i> ) .....                                                                  | 77         |
| 2.1.3.25   | Schleifen ( <i>Buffing</i> ) .....                                                                                   | 77         |
| 2.1.3.26   | Bürsten ( <i>Brushing</i> ) .....                                                                                    | 77         |
| <b>2.2</b> | <b>Protokolle der Laborversuche zum enzymatischen und chemischen Weichen und Äschern .....</b>                       | <b>78</b>  |
| <b>2.3</b> | <b>Graphische Darstellung der untersuchten Szenarien .....</b>                                                       | <b>81</b>  |
| <b>2.4</b> | <b>Datenherkunft und -qualität .....</b>                                                                             | <b>87</b>  |
| <b>2.5</b> | <b>Überblick Transporte .....</b>                                                                                    | <b>103</b> |
| <b>2.6</b> | <b>Stoff- und Energiebilanzen (Sachbilanz) .....</b>                                                                 | <b>107</b> |
| <b>2.7</b> | <b>Daten zur Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung).....</b> | <b>124</b> |
| <b>3</b>   | <b>Anhang zum Produktvergleich 2 - Tierproduktion unter Einsatz von Probiotika und Seltenen Erden .....</b>          | <b>129</b> |

|            |                                                                                                                              |            |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>3.1</b> | <b>Leistungsförderer im Überblick .....</b>                                                                                  | <b>129</b> |
| 3.1.1      | Antibiotische Leistungsförderer (Fütterungsantibiotika) .....                                                                | 129        |
| 3.1.2      | Probiotische Leistungsförderer (Probiotika) .....                                                                            | 131        |
| 3.1.3      | Organische Säuren und deren Salze .....                                                                                      | 134        |
| 3.1.4      | Seltene Erden.....                                                                                                           | 135        |
| 3.1.5      | Prebiotika.....                                                                                                              | 136        |
| 3.1.6      | Enzyme.....                                                                                                                  | 137        |
| 3.1.7      | Futterzusätze pflanzlichen Ursprungs (Kräuter und<br>Kräuterextrakte).....                                                   | 138        |
| 3.1.8      | Andere Futterzusätze .....                                                                                                   | 138        |
| <b>3.2</b> | <b>Graphische Darstellung der untersuchten Szenarien .....</b>                                                               | <b>139</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Datenherkunft und -qualität.....</b>                                                                                      | <b>147</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Überblick Transporte.....</b>                                                                                             | <b>171</b> |
| <b>3.5</b> | <b>Stoff- und Energiebilanzen (Sachbilanz) .....</b>                                                                         | <b>176</b> |
| <b>3.6</b> | <b>Daten zur Wirkungsabschätzung (Charakterisierung)<br/>und zugeordnete Sachbilanzergebnisse<br/>(Klassifizierung).....</b> | <b>204</b> |
| <b>4</b>   | <b>Anhang zum Produktvergleich 3 -<br/>Enzymeinsatz in Vollwaschmitteln .....</b>                                            | <b>211</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Graphische Darstellung der untersuchten Szenarien .....</b>                                                               | <b>211</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Datenherkunft und -qualität.....</b>                                                                                      | <b>217</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Überblick Transporte.....</b>                                                                                             | <b>238</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Stoff- und Energiebilanzen (Sachbilanz) .....</b>                                                                         | <b>242</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Wirkungsabschätzungsdaten und zugeordnete<br/>Sachbilanzergebnisse .....</b>                                              | <b>262</b> |

|            |                                                                                                                                                         |            |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5</b>   | <b>Anhang zum Konzept zur vergleichenden<br/>Bewertung des Gefahrenpotentials der<br/>biotechnischen bzw. chemisch-technischen<br/>Produktion .....</b> | <b>267</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Gefahrenpotential der relevanten Arbeitsstoffe.....</b>                                                                                              | <b>267</b> |
| 5.1.1      | Vorbemerkung .....                                                                                                                                      | 267        |
| 5.1.2      | Chemisch-technische Riboflavin-Produktion .....                                                                                                         | 268        |
| 5.1.2.1    | <i>Herstellung des Azofarbstoffes .....</i>                                                                                                             | <i>268</i> |
| 5.1.2.2    | <i>Herstellung der Barbitursäure .....</i>                                                                                                              | <i>274</i> |
| 5.1.2.3    | <i>Herstellung von Riboflavin aus Azo-Farbstoff und Barbitursäure .....</i>                                                                             | <i>282</i> |
| 5.1.2.4    | <i>Aufkonzentration des Riboflavins auf über 98 Gew.-%.....</i>                                                                                         | <i>286</i> |
| 5.1.3      | Biotechnische Riboflavin-Produktion .....                                                                                                               | 288        |
| 5.1.3.1    | <i>Fermentation und Gewinnung von Riboflavin (mind. 96 Gew. %) .....</i>                                                                                | <i>288</i> |
| 5.1.3.2    | <i>Aufkonzentration des Riboflavins auf über 98 Gew.-%.....</i>                                                                                         | <i>294</i> |
| <b>5.2</b> | <b>Bezeichnung der besonderen Gefahren bei<br/>gefährlichen Stoffen und Zubereitungen (R-Sätze) .....</b>                                               | <b>296</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Glossar zum Berichtsteil.....</b>                                                                                                                    | <b>301</b> |
| <b>6</b>   | <b>Literatur .....</b>                                                                                                                                  | <b>309</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 1-1: Verfahrensvergleich 1, Szenario BIOTECHNISCHER PROZESS (DSM) - vollständiges Bilanzierungsmodell .....       | 3   |
| Abbildung 1-2: Verfahrensvergleich 1, Szenario CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS (DSM) - vollständiges Bilanzierungsmodell ..... | 5   |
| Abbildung 2-1: Szenario ENZYMATISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - vollständiges Bilanzierungsmodell .....                             | 83  |
| Abbildung 2-2: Szenario CHEMISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - vollständiges Bilanzierungsmodell .....                                | 85  |
| Abbildung 3-1: Szenario OHNE ZUSATZ - vollständiges Bilanzierungsmodell .....                                               | 141 |
| Abbildung 3-2: Szenario PROBIOTIKA - vollständiges Bilanzierungsmodell .....                                                | 143 |
| Abbildung 3-3: Szenario SELTENE ERDEN - vollständiges Bilanzierungsmodell .....                                             | 145 |
| Abbildung 4-1: Szenario MODERNES WASCHMITTEL - vollständiges Bilanzierungsmodell .....                                      | 213 |
| Abbildung 4-2: Szenario TRADITIONELLES WASCHMITTEL - vollständiges Bilanzierungsmodell .....                                | 215 |



## Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 1-1: Dokumentation der Herkunft und Qualität der zur Bilanzierung verwendeten Daten .....                                      | 8   |
| Tabelle 1-2: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportentfernung .....                                    | 34  |
| Tabelle 1-3: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportleistung .....                                      | 37  |
| Tabelle 1-4: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportentfernung .....                                   | 37  |
| Tabelle 1-5: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportleistung .....                                     | 38  |
| Tabelle 1-6: Parameter zur Modellierung der Schifftransporte .....                                                                     | 38  |
| Tabelle 1-7: Szenario BIOTECHNISCHER PROZESS - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme) .....                                | 39  |
| Tabelle 1-8: Szenario BIOTECHNISCHER PROZESS - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme) .....                               | 44  |
| Tabelle 1-9: Szenario CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme) .....                          | 48  |
| Tabelle 1-10: Szenario CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme) .....                        | 54  |
| Tabelle 1-11: Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung) für beide Szenarien ..... | 58  |
| Tabelle 1-12: Szenario BIOTECHNISCHER PROZESS - Netto-Ergebnis .....                                                                   | 62  |
| Tabelle 1-13: Szenario CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS - Netto-Ergebnis .....                                                             | 63  |
| Tabelle 1-14: Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung) für beide Szenarien ..... | 64  |
| Tabelle 2-1: Versuchsprotokoll zum enzymatischen Weichen/Äschern (Schill+Seilacher, 2003a) .....                                       | 79  |
| Tabelle 2-2: Versuchsprotokoll zum chemisch-technischen Weichen/Äschern (Schill+ Seilacher, 2003a) .....                               | 80  |
| Tabelle 2-3: Dokumentation der Herkunft und Qualität der zur Bilanzierung verwendeten Daten .....                                      | 88  |
| Tabelle 2-4: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportentfernung .....                                    | 104 |
| Tabelle 2-5: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportleistung .....                                      | 105 |
| Tabelle 2-6: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportleistung .....                                     | 106 |
| Tabelle 2-7: Szenario ENZYMATISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme) .....                         | 107 |
| Tabelle 2-8: Szenario ENZYMATISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme) .....                        | 113 |
| Tabelle 2-9: Szenario CHEMISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme) .....                            | 117 |
| Tabelle 2-10: Szenario CHEMISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme) .....                          | 123 |

|                                                                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 2-11: Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung) für beide Szenarien.....                                                                                  | 124 |
| Tabelle 3-1: Derzeit noch zugelassene Fütterungsantibiotika (Schneider-Böttcher, 2001) .....                                                                                                                           | 130 |
| Tabelle 3-2: Herstellungsweise von antibiotischen Leistungsförderern .....                                                                                                                                             | 130 |
| Tabelle 3-3: Probiotika und deren Hersteller.....                                                                                                                                                                      | 131 |
| Tabelle 3-4: Einfluss der drei zugelassenen Probiotika auf die Lebendmassezunahme von Ferkeln und Mastschweinen unter Berücksichtigung neuerer Ergebnisse (nach 1980) aus Deutschland (nach Freitag et al., 1998)..... | 133 |
| Tabelle 3-5: Dokumentation der Herkunft und Qualität der zur Bilanzierung verwendeten Daten .....                                                                                                                      | 148 |
| Tabelle 3-6: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportentfernung .....                                                                                                                    | 171 |
| Tabelle 3-7: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportleistung .....                                                                                                                      | 173 |
| Tabelle 3-8: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportleistung .....                                                                                                                     | 174 |
| Tabelle 3-9: Parameter zur Modellierung der Schifftransporte bei Angabe der Transportentfernung .....                                                                                                                  | 174 |
| Tabelle 3-10: Parameter zur Modellierung der Schifftransporte bei Angabe der Transportleistung .....                                                                                                                   | 175 |
| Tabelle 3-11: Szenario OHNE ZUSATZ - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme).....                                                                                                                           | 176 |
| Tabelle 3-12: Szenario OHNE ZUSATZ - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme).....                                                                                                                          | 181 |
| Tabelle 3-13: Szenario PROBIOTIKA - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme).....                                                                                                                            | 185 |
| Tabelle 3-14: Szenario PROBIOTIKA - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme).....                                                                                                                           | 190 |
| Tabelle 3-15: Szenario SELTENE ERDEN - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme).....                                                                                                                         | 194 |
| Tabelle 3-16: Szenario SELTENE ERDEN - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme).....                                                                                                                        | 200 |
| Tabelle 3-17: Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung) für die drei Szenarien.....                                                                               | 204 |
| Tabelle 4-1: Dokumentation der Herkunft und Qualität der zur Bilanzierung verwendeten Daten .....                                                                                                                      | 218 |
| Tabelle 4-2: Parameter zur Modellierung der LKW-Transporte bei Angabe der Transportentfernung .....                                                                                                                    | 238 |
| Tabelle 4-3: Parameter zur Modellierung der LKW-Transporte bei Angabe der Transportleistung .....                                                                                                                      | 240 |
| Tabelle 4-4: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportentfernung .....                                                                                                                   | 241 |
| Tabelle 4-5: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportleistung .....                                                                                                                     | 241 |

|                                                                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 4-6: Szenario MODERNES WASCHMITTEL - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme) .....                                                                                                | 242 |
| Tabelle 4-7: Szenario MODERNES WASCHMITTEL - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme) .....                                                                                               | 248 |
| Tabelle 4-8: Szenario TRADITIONELLES WASCHMITTEL - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme) .....                                                                                          | 252 |
| Tabelle 4-9: Szenario TRADITIONELLES WASCHMITTEL - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme) .....                                                                                         | 258 |
| Tabelle 4-10: Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanzsergebnisse (Klassifizierung) für beide Szenarien .....                                                              | 262 |
| Tabelle 5-1: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung des Azo-Farbstoffes relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) - Teil 1 .....                             | 268 |
| Tabelle 5-2: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung des Azo-Farbstoffes relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 2 .....                             | 270 |
| Tabelle 5-3: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung des Azo-Farbstoffes relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 3 .....                             | 272 |
| Tabelle 5-4: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung der Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 1 .....                               | 274 |
| Tabelle 5-5: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung der Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 2 .....                               | 276 |
| Tabelle 5-6: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung der Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 3 .....                               | 278 |
| Tabelle 5-7: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung der Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 4 .....                               | 280 |
| Tabelle 5-8: Informationen zu bei der Synthese von Riboflavin aus Azo-Farbstoff und Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 1 .....                     | 282 |
| Tabelle 5-9: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Synthese von Riboflavin aus Azo-Farbstoff und Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 2 ..... | 284 |
| Tabelle 5-10: Informationen zu den bei der Aufkonzentration von Riboflavin auf über 98 % relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 1 .....                              | 286 |
| Tabelle 5-11: Informationen zu den bei der biotechnischen Herstellung von Riboflavin aus Glucose relevanten Stoffen (biotechnische Riboflavin-Herstellung) – Teil 1 .....                            | 288 |
| Tabelle 5-12: Informationen zu den bei der biotechnischen Herstellung von Riboflavin aus Glucose relevanten Stoffen (biotechnische Riboflavin-Herstellung) – Teil 2 .....                            | 290 |
| Tabelle 5-13: Informationen zu den bei der biotechnischen Herstellung von Riboflavin aus Glucose relevanten Stoffen (biotechnische Riboflavin-Herstellung) – Teil 3 .....                            | 292 |

## XII

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 5-14: Informationen zu den bei der Aufkonzentration von Riboflavin auf<br>über 98 % relevanten Stoffen (biotechnische Riboflavin-Herstellung) ..... | 294 |
| Tabelle 5-15: R-Sätze .....                                                                                                                                 | 296 |
| Tabelle 5-16: Kombinationen der R-Sätze .....                                                                                                               | 298 |

# **1 Anhang zum Verfahrensvergleich 1 - Biotechnische und Chemisch-technische Vitamin B2-Produktion**

## **1.1 Vitamin B2-Produktion der DSM Nutritional Products (vormals Roche Vitamine GmbH)**

### **1.1.1 Graphische Darstellung der untersuchten Szenarien**



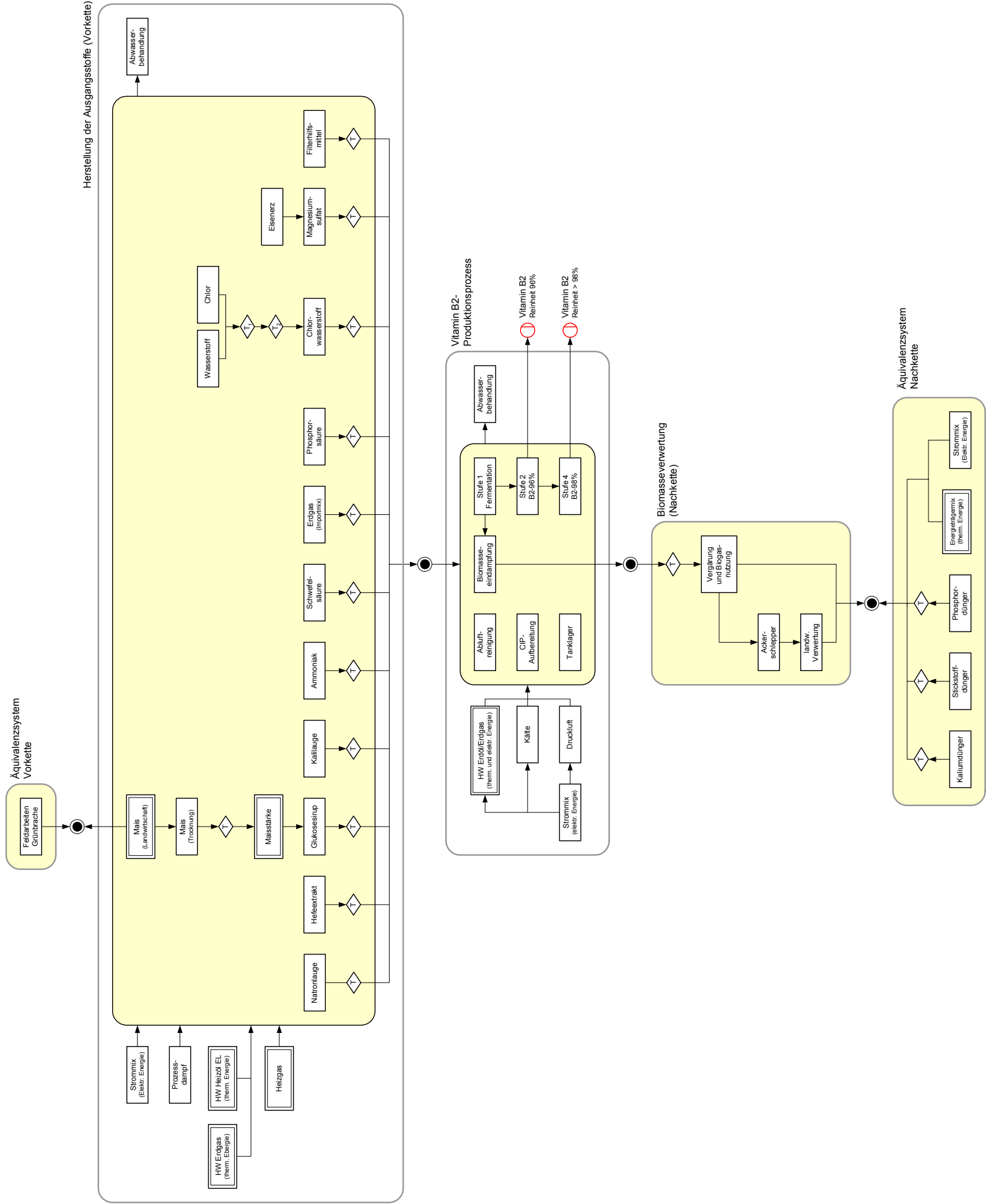


Abbildung 1-1: Verfahrensvergleich 1, Szenario BIOTECHNISCHER PROZESS (DSM) - vollständiges Bilanzierungsmodell



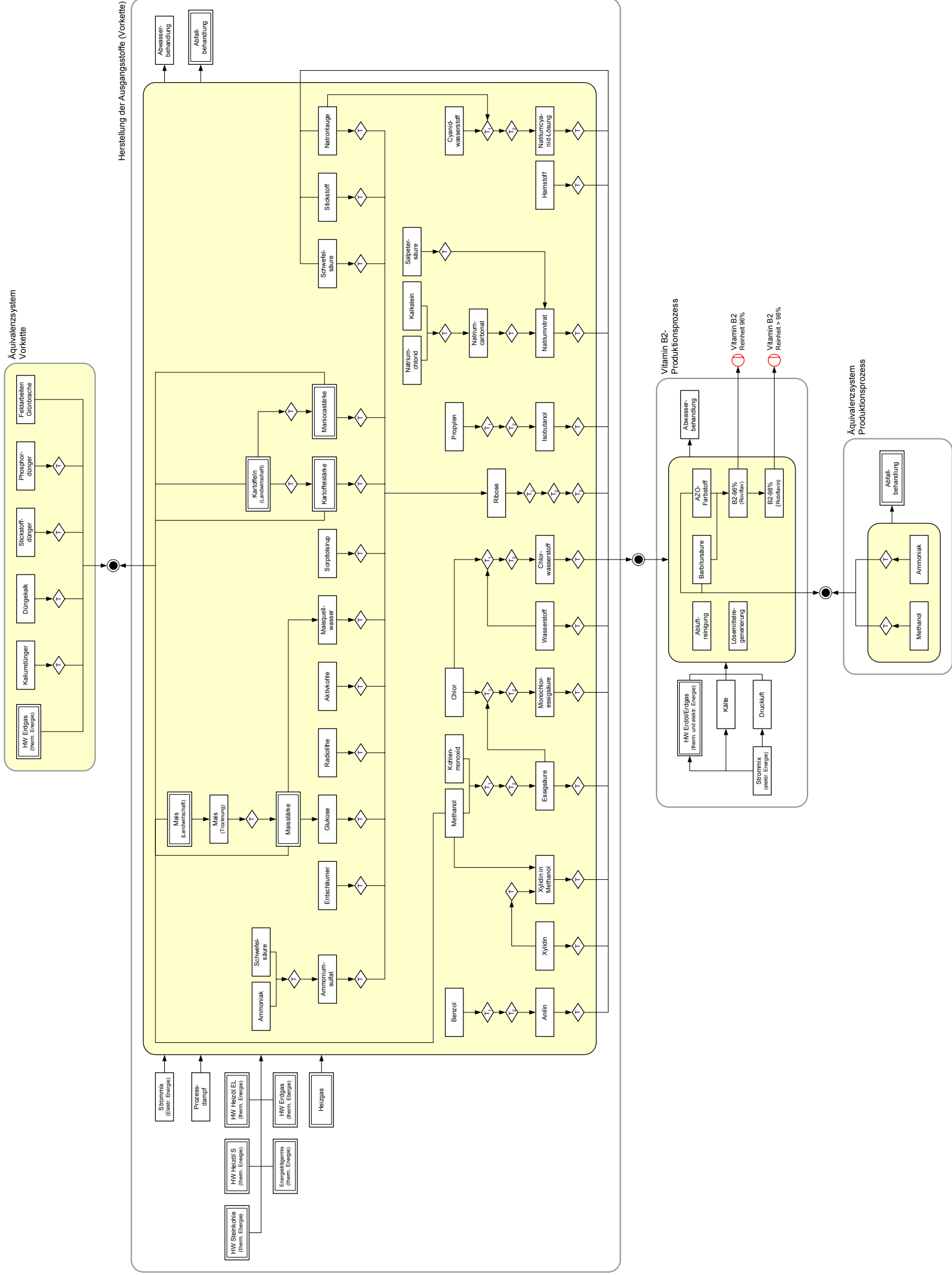


Abbildung 1-2: Verfahrensvergleich 1, Szenario CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS (DSM) - vollständiges Bilanzierungsmodell



### 1.1.2 Datenherkunft und -qualität

Im Bericht (Modellspezifische Anmerkungen zur Systemgrenze) wurde der zeitliche und geographische Bezug der ökobilanziellen Betrachtung definiert, der mit den politischen Grenzen der Bundesrepublik Deutschland gleichgesetzt wurde. Es ist aber gleichzeitig darauf aufmerksam gemacht worden, dass erfahrungsgemäß ein Teil der für die Modellierung verwendeten Daten davon abweichen kann. Darüber hinaus wurde auch darauf hingewiesen, dass für verschiedene Prozesse Annahmen und Näherungen getroffen werden mussten, um Datenlücken und Unsicherheiten zu schließen.

Die unter diesen Randbedingungen aufgebauten Bilanzierungsmodelle sind im Bericht (Beschreibung der Bilanzierungsmodelle) in ihren Teilsystemen beschrieben sowie vollständig in Abbildung 1-1 und Abbildung 1-2 dargestellt.

In Tabelle 1-1 sind die Module der beiden Abbildungen und damit die für die Modellierung verwendeten Daten dokumentiert. Soweit entsprechende Informationen vorlagen, wurden die Daten bezüglich Datenherkunft, Literaturquellen, Bezugsjahr und Repräsentativität charakterisiert. Darüber hinaus beinhaltet die Tabelle Kurzbeschreibungen der Prozesse, der Annahmen, berücksichtigte Vorketten bzw. integrierte Module sowie Transporte soweit dies nicht durch Vertraulichkeitsvereinbarungen eingeschränkt wird.

Ausführliche Modulbeschreibungen können in den angegebenen Literaturquellen nachgelesen werden.

Tabelle 1-1: Dokumentation der Herkunft und Qualität der zur Bilanzierung verwendeten Daten

| Modul                                             | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                               | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Teilsysteme Herstellung der Ausgangsstoffe</i> |                                                                                                 |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1-Butanol                                         | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)                  | 90iger Jahre, Europa             | Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde die Herstellung von Isobutanol durch ein Modul zur Herstellung von 1-Butanol angenähert. Das Modul beschreibt den Herstellungsprozess durch Hydroformulierung von Propen nach der Oxosynthese (ecoinvent, 2003).<br><br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Propylen, elektrische und thermische Energie (leichtes und schweres Heizöl, Steinkohle, Erdgas) |
| Aktivkohle                                        | Ungenügende Datenbasis                                                                          |                                  | Durch ein Modul zur Herstellung von Koks angenähert.<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ammoniak                                          | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- ifeu (1994)<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beschreibt die Herstellung von Ammoniak nach dem Haber-Bosch-Verfahren aus Synthesegas, das aus fossilen Energieträgern und Wasserdampf und/oder Luft erzeugt wird (ifu & ifeu, 2002).<br><br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-2 und Tabelle 1-4                                                                                                                                           |

<sup>1</sup> Die Kurzbeschreibungen fallen unterschiedlich ausführlich aus, was auf die mehr oder weniger detaillierte Dokumentation der Daten und Module in den Datenbanken und Bibliotheken zurückzuführen ist.

<sup>2</sup> Wenn keine Vorketten angegeben sind, handelt es sich meist um einen aggregierten Datensatz, d.h. die Herstellung von Ausgangsstoffen, die Energiebereitstellung oder Transporte sind in das Modul integriert.

<sup>3</sup> Ist kein Transport angegeben, wird das Material von vornherein nicht transportiert (z.B. Energien) oder es ist nicht eindeutig geklärt, ob das Material transportiert wird oder nicht, so dass keine Annahme getroffen werden kann.

| Modul          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                      | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ammoniumsulfat | - Net-Lexikon (2003)                                                                                           |                                                       | <p>Für den Herstellungsprozess konnten keine ausreichenden Sachbilanzdaten recherchiert werden. Die Mengen der Ausgangsstoffe wurden deshalb aus der Stöchiometrie der Reaktionsgleichung für die Herstellung von Ammoniumsulfat durch das Einleiten von Ammoniak in Schwefelsäure abgeleitet.</p> $2 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ <p>Weitere Stoffeinträge, der Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte mussten unberücksichtigt bleiben.</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Ammoniak und Schwefelsäure<br/> <i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2</p> |
| Anilin         | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Hischier (2003)                                       | Durchschnitt europäischer Anlagen                     | <p>Das Modul beschreibt die Herstellung von Anilin unter Verwendung von Nitrobenzol. Die Ermittlung der Stoffinputs erfolgte entsprechend der Stöchiometrie des Herstellungsprozesses. Luft- und Wasseremissionen sind aus der Massenbilanz abgeschätzt worden (ecoinvent, 2003).</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Benzol, elektrische und thermische Energie (Erdgas)<br/> <i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2</p>                                                                                                                                                                                                     |
| Benzol         | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1999)                                            | 1989-95, Jahresproduktion aus 14 europäischen Anlagen | <p>Das Modul beschreibt die Herstellung von Benzol zu je 50 % aus dem Catalytic-Reforming-Prozess bzw. aus Pyrolysebenzin (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> <p><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-3 und Tabelle 1-5</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Chlor          | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1994)<br>- Boustead (1994a)<br>- Gerhartz (1987) | Durchschnitt aus 14 europäischen Anlagen              | <p>Das Modul beschreibt die Herstellung von Chlor durch die Chloralkali-Elektrolyse mit den drei Prozessvarianten Amalgam-Verfahren, Diaphragma-Verfahren und Membran-Verfahren (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> <p><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-3 und Tabelle 1-5</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| Modul              | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                            | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                        | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chlorwasserstoff   | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)               | Ende 90iger Jahre,<br>Durchschnitt europäischer Anlagen | Das Modul beschreibt die Herstellung von Salzsäure aus der Reaktion von Chlor und Wasserstoff (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Chlor, Wasserstoff und elektrische Energie<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-4                                                                                                                 |
| Filterhilfsmittel  | Keine Daten verfügbar                                                                        |                                                         | Durch ein Modul zur Herstellung von Kalkstein angenähert.<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Cyanidwasserstoff  | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)               | 1992 - 1993, Durchschnitt verschiedener Anlagen         | Das Modul beschreibt die Herstellung von Cyanidwasserstoff durch eine Reaktion von Methan mit Ammoniak (ecoinvent, 2003).<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-3 und Tabelle 1-5                                                                                                                                                                       |
| Eisenerz           | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Frischknecht et al. (1996)               | Ca. 1990, Deutschland                                   | Das Modul beschreibt den Import-Mix für Eisenerz aus Westeuropa, der ehemaligen GUS, Brasilien, USA, Kanada und Australien. Der Abbau erfolgte zumeist im Tagebau (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                  |
| Entschäumer        | Keine Daten verfügbar                                                                        |                                                         | Das Modul ist leer, da weder Prozessdaten vorlagen noch ein vergleichbarer Herstellungsprozesses recherchiert werden konnte. In das Ergebnis gehen damit nur Aufwendungen und Emissionen des Transportes ein.<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                    |
| Erdgas (Importmix) | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Frischknecht et al. (1994)<br>- Fritsche et al. (1994) | Anfang 90iger Jahre, Deutschland                        | Das Modul beschreibt die Förderung, die Aufbereitung und den Transport von durchschnittlichem in Deutschland importiertem Erdgas. Es wird von einem Importanteil von 85 % ausgegangen, der sich zu 45 % und die ehemalige GUS, zu 30 % auf die Niederlande und zu 25 % auf Norwegen verteilt (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2 |

| Modul        | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität        | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Essigsäure   | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003) | 90iger Jahre, europäischer Durchschnitt | Das Modul beschreibt die Herstellung von Essigsäure nach dem Monsanto-Prozess, in dem Methanol mit Kohlenmonoxid unter dem Einfluss eines Rhodiumkatalysators reagiert (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Kohlenmonoxid, Methanol, elektrische und thermische Energie (Erdgas)<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-2, Tabelle 1-3 und Tabelle 1-5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Glukose      | Keine Daten verfügbar                                                          |                                         | Durch ein Modul zur Herstellung von Glukosesirup angenähert.<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Glukosesirup | - Fenner (1980)                                                                | 70iger Jahre, Deutschland               | In Fenner (1980) wird die Herstellung von Isoglukose aus D-Glukose, D-Fruktose, Maltose und Polysacchariden beschrieben. Die Daten zum Gesamtprozess sind für alle relevanten In- und Outputströme massenbezogen auf die Produktion von D-Glukosesirup allokiert. Die „Herstellung“ des Glukosesirups wurde einfach als Mischung der Edukte D-Glukosesirup und Wasser im gewünschten Verhältnis betrachtet. Weitere Energieaufwendungen, Betriebsmittel oder Emissionen sind nicht berücksichtigt.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Maisstärke, elektrische Energie und Prozessdampf<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-2<br>Die Aufwendungen für die Herstellung von D-Glukose als Vorstufe des D-Glukosesirup konnten nicht separiert werden, weshalb das Modul näherungsweise auch für die Herstellung von Glukose herangezogen wurde. |
| Harnstoff    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                       | Das Modul beschreibt die Umsetzung von Ammoniak und Kohlendioxid zu Ammoniumcarbamat, aus dem unter Abspaltung von Wasser eine Harnstofflösung hergestellt wird. Bei der weiteren Entwässerung der Lösung durch Vakuumdestillation oder Filmverdampfen fällt Harnstoff an (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

| Modul                      | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                             | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hefeextrakt                | Keine Daten verfügbar                                                                                         |                                  | Das Modul ist leer, da weder Prozessdaten vorlagen noch ein vergleichbarer Herstellungsprozesses recherchiert werden konnte. In das Ergebnis gehen damit nur Aufwendungen und Emissionen des Transportes ein.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 1-2</i>                                                                                                                                                                                                                                           |
| Isobutanol                 | Ungenügende Datenbasis                                                                                        |                                  | Durch ein Modul zur Herstellung von 1-Butanol angenähert.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 1-2</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Kalilauge (Kaliumhydroxid) | Ungenügende Datenbasis                                                                                        |                                  | Durch ein Modul zur Herstellung von Natronlauge angenähert.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 1-4</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Kalkstein                  | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Habersatter et al. (1998)<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beschreibt den Abbau von Kalkstein im Tagebau sowie die anschließende Aufbereitung durch Mahlen des Gesteins (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport: vgl. Tabelle 1-3</i><br>Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde das Modul näherungsweise auch für die Herstellung von Clarcel (Kieselgur) und Radiolite (Kieselerde) herangezogen.                                                                                                                                            |
| Kartoffel (Landwirtschaft) | Subnetz basierend auf dem Bilanzierungsmodell aus<br>- Würdinger et al. (2002)                                | 90iger Jahre, Deutschland        | Im Subnetz sind die zur Kartoffelproduktion üblichen Arbeitsschritte Bodenbearbeitung und Pflanzbettbereitung, Pflanzung, Düngung und Pflanzenschutz und Ernte integriert. Als zusätzliche Option berücksichtigt das Modul die Ausbringung von Kartoffelfruchtwasser aus der Stärkeproduktion auf Felder, was die Höhe der mineralischen Nährstoffzugaben reduziert (Würdinger et al., 2002).<br><i>Berücksichtigte Vorketten: elektrische Energie</i><br><i>Transporte: vgl. Tabelle 1-2</i> |

| Modul           | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                    | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität  | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kartoffelstärke | Modul basierend auf dem Bilanzierungsmodell aus<br>- Würdinger et al. (2002)                                                                                         | 90iger Jahre,<br>Deutschland      | <p>Im Modul Kartoffelstärke ist der Produktionsprozess einer Kartoffelfeststofffabrik umgesetzt. Anfallendes Fruchtwasser wird jeweils zur Hälfte verregnet bzw. einer Kläranlage zugeführt. Neben der Stärke fallen in der Fabrik Kartoffelprotein und Pülp in relevanten Mengen als Kuppelprodukte an (Würdinger et al., 2002). Im Modell sind deshalb alle In- und Outputströme des Produktionsprozesses massenbezogen auf den Produktanteil Kartoffelstärke allokiert.</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Kartoffel, Heizgas, elektrische und thermische Energie (Erdgas)</p> <p><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-2</p> <p>Mit der Annahme, dass die Manioca eine kartoffelähnliche Knolle ist, wurde infolge fehlender Sachbilanzdaten auch für den Herstellungsprozess von Maniocastärke näherungsweise auf das Subnetz Kartoffelstärke zurückgegriffen.</p> |
| Kohlenmonoxid   | Datensatz aus der GEMIS-Datenbank                                                                                                                                    | Deutschland                       | <p>In Fritsche et al. (2002) sind keine Informationen zum Herstellungsprozess angegeben.</p> <p><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-3 und Tabelle 1-5</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Koks            | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Conradini und Köhler (1999)<br>- Rentz et al. (1996)<br>- Frischknecht et al. (1996)<br>- Fritsche et al. (2000) | 90iger Jahre,<br>Deutschland      | <p>Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde die Herstellung von Aktivkohle durch ein Modul zur Herstellung von Koks angenähert. Das Modul beschreibt die Herstellung aus Steinkohle in der Kokerei eines integrierten Hüttenwerkes (ifu &amp; ifeu, 2002).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Magnesiumsulfat | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Hirschier (2003)                                                                                            | Durchschnitt europäischer Anlagen | <p>Das Modul Magnesiumsulfat beschreibt den Kalkabbau sowie das Zerkleinern und Mahlen des Gesteins (ecoinvent, 2003).</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Eisenerz, elektrische und thermische Energie (Heizöl, leicht)</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

| Modul                 | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mais (Landwirtschaft) | Subnetz basierend auf dem Bilanzierungsmodell aus<br>- Würdinger et al. (2002) | 90iger Jahre,<br>Deutschland     | In das Subnetz Mais sind die zur Maisproduktion üblichen Arbeitsgänge Einarbeitung einer Zwischenfrucht - Aussäen des Mais - Düngung und Pflanzenschutz - Ernte - Einarbeitung einer Nachfrucht integriert. Weiter wird davon ausgegangen, dass die landwirtschaftliche Fläche, wenn kein Mais angebaut wird, eine mit Welschem Weidelgras aktiv begrünte Brache ist. Die Aufwendungen für den Erhalt der Grünbrache werden dem System als Gutschrift angerechnet, da diese durch den Maisanbau nicht notwendig sind. Aufgrund der hohen Wassergehalte muss der erntefechte Mais in Deutschland für die Lagerung immer getrocknet werden, wofür ein, üblicherweise dafür verwendeter, ölbetriebener Maistrockner modelliert wurde (Würdinger et al., 2002).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> elektrische und thermische Energie (Heizöl, leicht)<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-2 |
| Maisstärke            | Subnetz basierend auf dem Bilanzierungsmodell aus<br>- Würdinger et al. (2002) | 90iger Jahre,<br>Deutschland     | Im Subnetz Maisstärke ist der Produktionsprozess einer Maisstärkefabrik umgesetzt. Neben der Stärke fallen in der Fabrik Maiskleberfütter, Maiskeimöl und Maisgluten in relevanten Mengen als Kuppelprodukte an (Würdinger et al., 2002). Im Modell sind deshalb alle In- und Outputströme des Produktionsprozesses massenbezogen auf den Produktanteil Maisstärke allokiert.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Mais, Heizgas, elektrische und thermische Energie (Erdgas)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Maisquellwasser       | Modul basierend auf dem Bilanzierungsmodell aus<br>- Würdinger et al. (2002)   | 90iger Jahre,<br>Deutschland     | Das Maisquellwasser ist ein Abfallprodukt aus der Maisstärkeproduktion.<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Maniocastärke         | Keine Daten verfügbar                                                          |                                  | Durch ein Modul zur Herstellung von Kartoffelstärke angenähert.<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

| Modul               | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                  | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                                            | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Methanol            | Datensatz aus der GEMIS-Datenbank basierend auf<br>- DSD (1995)<br>- Vriens (1994) | Mitte 90iger Jahre, Durchschnitt West-europa                                | Das Modul beschreibt industrielle Methanolproduktion mit den drei Hauptschritten Produktion von Synthesegas, Synthese von Methanol und Aufarbeitung des Rohmethanols. Bei der chemischen Umwandlung des Synthesegases zu Methanol entsteht u.a. als Zusatznutzen Purgegas, dem eine Gutschrift für eine energetische Verwertung angerechnet wird (Fritzsche et al., 2002).<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-2, Tabelle 1-3 und Tabelle 1-5 |
| Methanol in Xylidin | - DSM (2003)                                                                       | Mitte 90iger Jahre, Deutschland                                             | Das Modul beinhaltet nur die notwendigen Mengen an Ausgangsstoffen (42 % Methanol und 58 % Xylidin). Über weitere Stoff- und Energieeinträge bzw. Emissionen oder Nebenprodukte liegen keine Informationen vor.<br>Berücksichtigte Vorketten: Methanol und Xylidin<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                       |
| Monochloressigsäure | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)     | Ende 90iger Jahre, Durchschnitt europäischer und nordamerikanischer Anlagen | Das Modul beschreibt die Produktion von Monochloressigsäure durch die Reaktion von Essigsäure mit Chlor (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Chlor, Essigsäure, elektrische und thermische Energie (Erdgas)<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                           |
| Natriumcarbonat     | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)     | 1999, Durchschnitt europäischer Anlagen                                     | Das Modul enthält Sachbilanzdaten aus finnischen und deutschen Literaturquellen, die anscheinend auf state-of-the-art Produktionsanlagen verweisen (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Natriumchlorid, Kalkstein (1), elektrische und thermische Energie (Steinkohle)<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                |
| Natriumchlorid      | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1994)                | 1989-90, Westeuropa                                                         | Das Modul beschreibt die Steinsalzförderung (Soleförderung) im klassischen Bergbau, wobei Wasser in das Salzgestein geleitet und die Sole abgepumpt wird (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-3                                                                                                                                                                                                                             |

| Modul                    | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                             | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Natriumcyanid-<br>Lösung | Datensatz aus der Ecoinvent-<br>Datenbank basierend auf<br>- Hirschier (2003) |                                  | <p>Das Modul beschreibt den Herstellungsprozess aus Natronlauge und Cyanidwasserstoff durch Neutralisation mit einer Umsetzungsrate von 95 % aufbauend auf stöchiometrischen Berechnungen. Der Energiebedarf ist anhand eines Chemiewerks abgeschätzt. Die Emissionen sind Annahmen (ecoinvent 2003).</p> <p>Die „Herstellung“ der 28%igen Lösung wurde einfach als Mischung der Edukte Natriumcyanid und Wasser im gewünschten Verhältnis betrachtet. Weitere Energieaufwendungen, Betriebsmittel oder Emissionen sind nicht berücksichtigt.</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Cyanidwasserstoff, Natronlauge, elektrische und thermische Energie (Erdgas)</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2</p> |
| Natriumnitrat            | - Net-Lexikon (2003a)                                                         |                                  | <p>Für den Herstellungsprozess konnten keine ausreichenden Sachbilanzdaten recherchiert werden. Die Mengen der Ausgangsstoffe wurden deshalb aus der Stöchiometrie der Reaktionsgleichung abgeleitet.</p> $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2 \text{HNO}_3 \rightarrow 2 \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ <p>Weitere Stoffeinträge, der Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte mussten unberücksichtigt bleiben.</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Natriumcarbonat und Salpetersäure</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2</p>                                                                                                                                         |

| Modul                         | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                            | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Natronlauge (Natriumhydroxid) | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1994)<br>- Boustead (1994a)<br>- Gerhartz (1987) | 1989-90, Durchschnitt Westeuropa                            | Das Modul beschreibt die Herstellung von Natriumhydroxid durch die Chloralkali-Elektrolyse mit den drei Prozessvarianten Amalgam-Verfahren, Diaphragma-Verfahren und Membran-Verfahren (ifu & ifeu, 2002).<br><br>Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde das Modul näherungsweise auch für die Herstellung von Kalilauge (Kaliumhydroxid) herangezogen.<br><br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-2, Tabelle 1-3, Tabelle 1-4 und Tabelle 1-5 |
| Phosphorsäure                 | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997)                                 | 1993, Deutschland                                           | Das Modul beschreibt die Herstellung von Phosphorsäure durch die Reaktion von Phosphaterz und Schwefelsäure. Dabei wird zwischen dem unterschiedlich energieaufwendigen Hemihydrat- und dem Dihydrat-Verfahren unterschieden (ifu & ifeu, 2002)<br><br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-4                                                                                                                                                         |
| Propylen                      | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1994b)                                           | 1989-95, Jahresgesamtproduktion aus 25 europäischen Anlagen | Das Modul beschreibt die Propylengewinnung durch Steam Cracking aus den Ausgangsstoffen Naphtha aus der Ölfraffinerie, Erdgas oder einer Mischung aus beiden (ifu & ifeu, 2002)<br><br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-3 und Tabelle 1-5                                                                                                                                                                                                        |
| Radiolithe                    | Keine Daten verfügbar                                                                                          |                                                             | Durch ein Modul zur Herstellung von Kalkstein angenähert.<br><br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

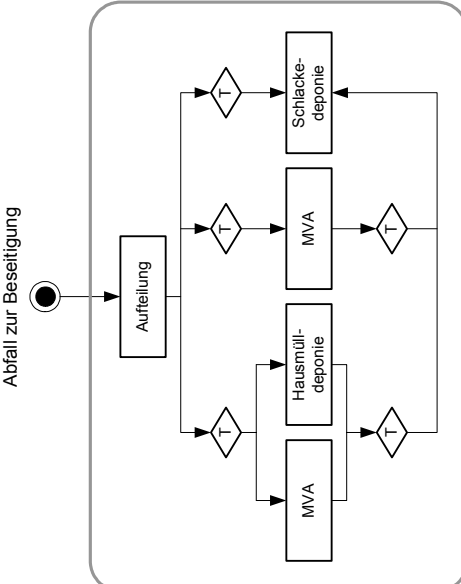
| Modul         | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ribose        | - DSM (2003)                                                                   | Mitte 90iger Jahre               | Die Daten für das Modul stammen aus einem ERP-System einer japanischen Firma, die Ribose für den chemischen Prozess zur Roche Vitamine GmbH geliefert hat. Da keine japanischen Prozessmodule oder Datensätze zur Verfügung stehen, sind für alle Vorketten und Transporte auf Deutschland bezogene Module verwendet worden.<br><br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Ammoniumsulfat, Entschäumer, Glukose, Radiolite, Aktivkohle, Maisquellwasser, Natronlauge, Schwefelsäure, Sorbitolsirup, Stickstoff, Kartoffelstärke, Maniocastärke, elektrische und thermische Energie (Energieträgermix)<br><br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-2 und Tabelle 1-6 |
| Salpetersäure | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beschreibt die Herstellung von Salpetersäure nach dem Ostwald-Verfahren durch Ammoniak-Oxidation mit Luft (ifu & ifeu, 2002).<br><br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Schwefelsäure | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beinhaltet einen Mix der in Deutschland verwendeten Herstellungsprozesse entsprechend ihres Anteils an der Gesamtproduktion (ifu & ifeu, 2002).<br><br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Sorbitolsirup | - Syskem (2003)<br>- Sabona (2003)                                             |                                  | Das Modul beschreibt die Herstellung eines 70 %igen Sorbitolsirup, indem näherungsweise Glukose mit Wasser im gewünschten Verhältnis versetzt wurde. Über Energieaufwendungen, Betriebsmittel oder Emissionen lagen keine Informationen vor.<br><br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Glukose<br><br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Stickstoff    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Frischknecht et al. (1996) | ca. 1990, Deutschland            | Das Modul beschreibt die Herstellung von Stickstoff mittels Luftzerlegung (ifu & ifeu, 2002).<br><br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

| Modul                                                                                                                                              | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                              | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wasserstoff                                                                                                                                        | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1994)<br>- Boustead (1994a)<br>- Gerhartz (1987) | 1989 - 90, Durchschnitt Westeuropa                            | Das Modul beschreibt die Herstellung durch die Chloralkali-Elektrolyse mit den drei Prozessvarianten Amalgam-Verfahren, Diaphragma-Verfahren und Membran-Verfahren (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 1-2, Tabelle 1-3 und Tabelle 1-5                                            |
| Xylidin                                                                                                                                            | Ungenügende Datenbasis                                                                                         |                                                               | Durch ein Modul zur Herstellung von Xylol angenähert.<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2                                                                                                                                                                                                           |
| Xylol                                                                                                                                              | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1999a)                                           | 1990-96, Jahresgesamtproduktion aus acht europäischen Anlagen | Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde für die Herstellung von Xylidin näherungsweise das Modul Xylol herangezogen. Das Modul beschreibt die Xylolgewinnung durch Steam Cracking aus den Ausgangsstoffen Naphtha aus der Ölraffinerie, Erdgas oder einer Mischung aus beiden (ifu & ifeu, 2002). |
| <b>Teilsysteme Vitamin B2-Produktionsprozess</b><br>(Eine nähere Beschreibung der Prozessmodule ist aus Gründen der Vertraulichkeit nicht möglich) |                                                                                                                |                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Abluftreinigung                                                                                                                                    | - DSM (2003)                                                                                                   | 2000 und 2002, DSM-Werk Grenzach                              | Das Modul beinhaltet Abwasser- und Abluftemissionen, die bei der Aufbereitung von Abluft aus dem chemisch-technischen bzw. biotechnischen Vitamin B2-Produktionsprozess auftreten.                                                                                                                    |
| AZO-Farbstoff                                                                                                                                      | - DSM (2003)                                                                                                   | 2000, DSM-Werk Grenzach                                       | Das Modul beschreibt den Herstellungsprozess mit Daten aus einem ERP-System.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Herstellung der Ausgangsstoffe, Druckluft, Kälte, elektrische und thermische Energie                                                                                     |
| Barbitursäure                                                                                                                                      | - DSM (2003)                                                                                                   | 2000, DSM-Werk Grenzach                                       | Das Modul beschreibt den Herstellungsprozess mit Daten aus einem ERP-System.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Herstellung der Ausgangsstoffe, Druckluft, Kälte, elektrische und thermische Energie                                                                                     |

| Modul                          | Datenherkunft<br>Literaturquellen | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                            |
|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biomasseeindampfung            | - DSM (2003)                      | 2002, DSM-Werk<br>Grenzach       | Das Modul beinhaltet Abwasseremissionen, die bei der Eindampfung von Biomasse aus dem biotechnischen Vitamin B2-Produktionsprozess auftreten.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Stufe 1, Fermentation<br><i>Transport Biomasse:</i> vgl. Tabelle 1-2 |
| CIP-Aufbereitung               | - DSM (2003)                      | 2002, DSM-Werk<br>Grenzach       | Das Modul beinhaltet Abwasseremissionen, die bei der Aufbereitung von CIP-Wassers aus dem biotechnischen Vitamin B2-Produktionsprozess auftreten.                                                                                                       |
| Lösemittelregenerierung        | - DSM (2003)                      | 2000, DSM-Werk<br>Grenzach       | Das Modul beinhaltet Abwasseremissionen, die bei der Aufbereitung von Lösemittel aus dem chemisch-technischen Vitamin B2-Produktionsprozess auftreten.                                                                                                  |
| Vitamin B2-96%<br>(Roviflav)   | - DSM (2003)                      | 2000, DSM-Werk<br>Grenzach       | Das Modul beschreibt den chemisch-technischen Herstellungsprozess mit Daten aus einem ERP-System.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Herstellung der Ausgangsstoffe, Druckluft, elektrische und thermische Energie                         |
| Vitamin B2-98%<br>(Riboflavin) | - DSM (2003)                      | 2000, DSM-Werk<br>Grenzach       | Das Modul beschreibt den chemisch-technischen Herstellungsprozess mit Daten aus einem ERP-System.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Herstellung der Ausgangsstoffe, Druckluft, Kälte, elektrische und thermische Energie                  |
| Stufe 1, Fermentation          | - DSM (2003)                      | 2002, DSM-Werk<br>Grenzach       | Das Modul beschreibt den biotechnischen Herstellungsprozess mit Daten aus einem ERP-System.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Herstellung der Ausgangsstoffe, Druckluft, elektrische und thermische Energie                               |
| Stufe 2, Vitamin B2-96%        | - DSM (2003)                      | 2002, DSM-Werk<br>Grenzach       | Das Modul beschreibt den biotechnischen Herstellungsprozess mit Daten aus einem ERP-System.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Herstellung der Ausgangsstoffe, Druckluft, Kälte, elektrische und thermische Energie                        |

| Modul                                 | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stufe 4, Vitamin B2-98%               | - DSM (2003)                                                                                     | 2002, DSM-Werk Grenzach          | Das Modul beschreibt den biotechnischen Herstellungsprozess mit Daten aus einem ERP-System.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Herstellung der Ausgangsstoffe, Druckluft, Kälte, elektrische und thermische Energie                                                                                                                    |
| Tanklager                             | - DSM (2003)                                                                                     | 2002, DSM-Werk Grenzach          | Das Modul beinhaltet Abwasseremissionen, die für den biotechnischen Vitamin B2-Produktionsprozess beim Tanklager auftreten.                                                                                                                                                                                                                         |
| <i>Teilsysteme Biomasseverwertung</i> |                                                                                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Ackerschlepper                        | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Borken et al. (1999)<br>- Kaltschmitt (1997) | 1995, europäischer Durchschnitt  | Das Modul beinhaltet die mit der Arbeit eines Ackerschleppers verbundenen Energieverbräuche und Emissionen (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Landw. Verwertung                                                                                                                                                               |
| Landw. Verwertung                     | Modul basierend auf<br>- Bayrle et al. (2002)                                                    | aktuell, Deutschland             | Das Modul beschreibt die mit dem Ausbringen von Kompost auf ein Feld verbundenen Emissionen. Mineralische Düngemittel, die durch den Nährstoffgehalt im Gärreststoff substituiert werden, werden dem System als Gutschrift angerechnet.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Vergärung und Biogasnutzung                                            |
| Vergärung und Biogasnutzung           | Modul basierend auf dem Bilanzierungsmodell aus<br>- Würdinger et al. (2002)                     | 90iger Jahre, Deutschland        | Das Modul beschreibt eine einstufige Vergärungsanlage, die sich dadurch auszeichnet, dass Hydrolyse und Methanisierung zusammen in einem Gärreaktor ablaufen. Die Nutzung des Biogases erfolgt in einem nachgeschalteten Blockheizkraftwerk mit einem Otto-Gas-Motor.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Vitamin B2-Produktionsprozess |

| Modul                        | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                   | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                              |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Äquivalenzsysteme</i>     |                                                                                     |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Ammoniak                     |                                                                                     |                                  | Das Modul ist weiter oben beschrieben.                                                                                                                                                                                                                    |
| Feldarbeiten Grün-<br>brache | Modul basierend auf dem Bi-<br>lanzierungsmodell aus<br>- Würdinger et al. (2002)   | 90iger Jahre,<br>Deutschland     | Das Modul beinhaltet die Aufwendungen für den Erhalt einer Grünbrache.                                                                                                                                                                                    |
| HW Erdgas                    |                                                                                     |                                  | Das Modul ist weiter unten beschrieben.                                                                                                                                                                                                                   |
| Kalkdünger (als<br>CaO)      | Modul aus der Umberto-Biblio-<br>thek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993/94, Deutsch-<br>land        | Das Modul beschreibt die Herstellung als Mischung von 85% Kalkstein und 15% Branntkalk (ifu und ifeu, 2002).<br><i>Transport</i> : vgl. Tabelle 1-2                                                                                                       |
| Kalium-Dünger                | Modul aus der Umberto-Biblio-<br>thek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beschreibt die Herstellung durch Abbau und Aufberei-<br>tung kaliumsalzhaltiger Gesteine (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport</i> : vgl. Tabelle 1-2                                                                                             |
| Methanol                     |                                                                                     |                                  | Das Modul ist weiter oben beschrieben.                                                                                                                                                                                                                    |
| Phosphor-Dünger              | Modul aus der Umberto-Biblio-<br>thek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beschreibt die Gewinnung von Phosphatdünger im<br>Wesentlichen aus Rohphosphaten und in geringem Maße als<br>Nebenprodukt bei der Eisenverhüttung aus phosphathaltigem Erz<br>(ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport</i> : vgl. Tabelle 1-2        |
| Stickstoff-Dünger            | Modul aus der Umberto-Biblio-<br>thek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beschreibt die Herstellung synthetischer Düngemittel<br>deren nährstoffhaltige Verbindungen in Deutschland im Wesent-<br>lichen auf Ammonium, Nitrat und Harnstoff beschränkt sind (ifu &<br>ifeu, 2002)<br><i>Transport</i> : vgl. Tabelle 1-2 |
| Strommix                     |                                                                                     |                                  | Das Modul ist weiter unten beschrieben.                                                                                                                                                                                                                   |

| Modul                                             | Datenherkunft<br>Literaturquellen | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Basismodule Abfall- und Abwasserbehandlung</b> |                                   |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Abfallbehandlung                                  |                                   |                                  | <p>Das Subnetz beschreibt den Umgang mit Abfällen zur Beseitigung, die nicht unter das Abschneidekriterium fallen. Die Aufteilung dieser Abfälle wurde wie folgt vorgenommen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- hausmüllähnliche Abfälle in den Beseitigungsmix Deutschland (bestehend aus MVA und Hausmülldeponie)</li> <li>- Abfälle zur Verbrennung in eine Müllverbrennungsanlage</li> <li>- Schlacken, Aschen, Inertstoffe in eine Schlackedeponie</li> </ul>  <p>The flowchart illustrates the waste disposal process. It begins with a circle labeled 'Abfall zur Beseitigung' (Waste for disposal). An arrow leads to a rectangle labeled 'Aufteilung' (Distribution). From 'Aufteilung', three arrows branch out to three diamond-shaped decision points, each labeled 'T'. The first 'T' leads to a rectangle labeled 'MVA' (Municipal Waste Incineration). The second 'T' leads to a rectangle labeled 'Hausmüll-deponie' (Household waste landfill). The third 'T' leads to a rectangle labeled 'Schlacke-deponie' (Slack landfill). Arrows from the 'MVA' and 'Hausmüll-deponie' rectangles lead to a final diamond-shaped decision point labeled 'T', which then leads to the 'Schlacke-deponie' rectangle.</p> <p><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Beseitigungsmix, Müllverbrennungsanlage, Schlackedeponie<br/> <i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2</p> |

| Modul                          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                                             | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität    | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beseitigungsmix<br>Deutschland | Subnetz basierend auf dem<br>Bilanzierungsmodellen aus<br>- Würdinger et al. (2002)<br>- Hottenroth et al. (2004)                                                                                                                             | Anfang 00iger Jahre,<br>Deutschland | <p>Im Beseitigungsmix Deutschland werden die Abfälle entsprechend der Situation in Deutschland zu 38 % in einer Müllverbrennungsanlage thermisch behandelt und zu 62 % unbehandelt deponiert. Von den deponierten Abfällen werden zwischen 3 % und 4 % zuvor mechanisch-biologisch behandelt. Da derzeit aber keine verlässlichen Daten zu den Umweltauswirkungen der MBA vorliegen, wird angenommen, dass dieser (geringe) Anteil Abfall auch direkt deponiert wird.</p> <p><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Hausmülldeponie, Müllverbrennungsanlage</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2</p>          |
| Hausmülldeponie                | Subnetz aus der Umberto-<br>Bibliothek basierend auf<br>- Eggels und van der Ven (1995)<br>- Ehrig (1997)<br>- Habsatter et al. (1998)<br>- Rettenberger (1997)<br>- Rettenberger und Stegmann (1997)<br>- Schuhmann (1997)<br>- Weber (1990) | 90iger Jahre,<br>Deutschland        | <p>Das Subnetz beschreibt die Emissionen und den Betriebsmittelverbrauch bei der Ablagerung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfällen in einer Deponie mit den beiden Hauptemissionspfaden Sickerwasser und Deponiegas. Sowohl das Sickerwasser als auch das Deponiegas werden unterschiedlichen Entsorgung- und Behandlungswegen bis hin zur Klärschlammabtrocknung und -verbrennung bzw. zur Verbrennung oder Verstromung des Deponiegases unterzogen (ifu und ifeu, 2002). Die erzeugte Energie wird als Gutschrift ausgewiesen und entsprechend verrechnet.</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2</p> |

| Modul                                  | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Müllverbrennungs-<br>anlage            | <p>Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auksutat und Löffler (1998)</li> <li>- Achernbosch und Richers (1997)</li> <li>- Achernbosch und Richers (1998)</li> <li>- ifeu (2002)</li> <li>- Schäfl (1995)</li> <li>- Thome-Kozmiensky (1995)</li> <li>- UBA (1999)</li> </ul>                                                                                                                                           | Mitte 90iger Jahre, Deutschland  | <p>Das Modul beschreibt die Verbrennung von Hausmüll bzw. von hausmüllähnlichen Abfällen in einer Müllverbrennungsanlage neuerer Bauart vom Typ der Rostfeuerung mit hohem Standard der Abgasreinigung. Der elektrische Nutzungsgrad der Anlage ist mit 10 % und der thermische Nutzungsgrad mit 30 % definiert (ifu und ifeu, 2002). Die erzeugte Energie wird als Gutschrift ausgewiesen und entsprechend verrechnet.</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2</p> |
| Schlackedeponie<br>(Inertstoffdeponie) | <p>Subnetz aus der Umberto-Bibliothek basierend auf</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BfU (1998)</li> <li>- Ehrig (1997)</li> <li>- Förstner et al. (1997)</li> <li>- Habersatter et al. (1998)</li> <li>- Hirschmann und Förstner (1997)</li> <li>- Kersten et al. (1995)</li> <li>- Regener et al. (1997)</li> <li>- Rettenberger und Stegmann (1997)</li> <li>- Simon (1995)</li> <li>- Turk (1997)</li> <li>- UBA (unveröffentlichte Mitteilungen)</li> </ul> | 1997, Deutschland                | <p>Das Subnetz beschreibt die Emissionen und den Betriebsmittelverbrauch bei der Ablagerung von Aschen und Schlacken auf einer Schlackedeponie mit den beiden Hauptemissionspfaden Sickerwasser und Deponiegas. Eine energetische Verwertung des Sickerwassers und des Deponiegases, wie bei der Hausmülldeponie, ist nicht implementiert (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 1-2 und Tabelle 1-3</p>                                       |

| Modul                                          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|--|----------------|-----------|------------|--------|--------|------------|--------|-------|--------|--------|--------|-----------|-------|--------|
| Abwasserbehandlung                             | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- ifeu (1994)                                                | 1994, Deutschland                | Das Modul beschreibt eine Kläranlage mit weitergehende Reinigung inklusive der Vorketten auf Basis der durchschnittlichen Reinigungseffizienz kommunaler biologischer Anlagen (ifu & ifeu, 2002). Die Abwasserbehandlung wird dabei durch die Abwassermenge sowie den Ammoniumgehalt, AOX, BSB <sub>5</sub> , CSB und Phosphorgehalt parametrisiert.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Basismodule Energieträger und Energieerzeugung |                                                                                                                |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Energieträgermix Deutschland (therm. Energie)  | Subnetz basierend auf dem Bilanzierungsmodellen aus<br>- Würdinger et al. (2002)<br>- Hottenroth et al. (2004) | 90iger Jahre, Deutschland        | <p>Der thermische Energieträgermix Deutschland wurde aus Würdinger et al. (2002) entnommen. Danach wird 52 % der in Deutschland benötigten thermischen Energie in Form von industrieller Wärme (Prozesswärme) und 48 % in Form von Fernwärme erzeugt.</p> <p>Die Prozesswärme wird zu 100 % in Heizwerken erzeugt.</p> <p>Die Fernwärme wird zu 70 % in Heizkraftwerken, 28 % in Heizwerken und 2 % in Müllverbrennungsanlagen erzeugt. Der durchschnittliche Brennstoffeinsatz ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst (nach Würdinger et al., 2002). Bei der Modellierung wurde der Anteil der Müllverbrennungsanlagen vernachlässigt und auf die Heiz- bzw. Heizkraftwerke verteilt.</p> <table><tr><th rowspan="2">Brennstoff</th><th colspan="2">Anteil der Brennstoffe [%]</th></tr><tr><th>Heizkraftwerke</th><th>Heizwerke</th></tr><tr><td>Steinkohle</td><td>51,7 %</td><td>20,5 %</td></tr><tr><td>Braunkohle</td><td>17,9 %</td><td>6,8 %</td></tr><tr><td>Erdgas</td><td>21,1 %</td><td>54,7 %</td></tr><tr><td>Mineralöl</td><td>7,4 %</td><td>17,9 %</td></tr></table> <p><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> HKW Braunkohle, HKW Steinkohle, HKW Erdgas, HW Braunkohle, HW Steinkohle, HW Erdgas, HW Heizöl S</p> | Brennstoff | Anteil der Brennstoffe [%] |  | Heizkraftwerke | Heizwerke | Steinkohle | 51,7 % | 20,5 % | Braunkohle | 17,9 % | 6,8 % | Erdgas | 21,1 % | 54,7 % | Mineralöl | 7,4 % | 17,9 % |
| Brennstoff                                     | Anteil der Brennstoffe [%]                                                                                     |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
|                                                | Heizkraftwerke                                                                                                 | Heizwerke                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Steinkohle                                     | 51,7 %                                                                                                         | 20,5 %                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Braunkohle                                     | 17,9 %                                                                                                         | 6,8 %                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Erdgas                                         | 21,1 %                                                                                                         | 54,7 %                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Mineralöl                                      | 7,4 %                                                                                                          | 17,9 %                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |

| Modul          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HKW Braunkohle | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer und elektrischer Energie in einem Braunkohle-Heizkraftwerk mit einer Leistung von 50 MWel (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                             |
| HKW Erdgas     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer und elektrischer Energie in einem Erdgas-Heizkraftwerk mit Gasturbine und einer Leistung von 10 MWel (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                  |
| HKW Steinkohle | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer und elektrischer Energie in einem Steinkohle-Heizkraftwerk mit einer Leistung von 100 MWel (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                            |
| HW Braunkohle  | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in einem Braunkohle-Heizkraftwerk mit rheinischer Braunkohle aus den rheinischen Abbaugebieten. Die Leistung des Heizkessels liegt bei 10 MW(th) (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                              |
| HW Erdgas      | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in Erdgasheizkesseln mit Leistungen von 1 bis 10 MW(th). Die Kessel stellen durchschnittliche Industriekessel zur Bereitstellung von Prozess- und Fernwärme dar (ifu & ifeu, 2002).<br>Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde das Modul näherungsweise auch für die Bereitstellung von Heizgas herangezogen. |
| HW Heizöl EL   | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt ein Heizwerk für leichtes Heizöl mit Gebläsebrenner mit einer Leistung von 1 MW (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                                                                       |
| HW Heizöl S    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in einem Schwerölheizwerk im Bereich von 50 - 200 MW(th). Dieser Heizwerkstyp wird zur industriellen Prozesswärme-Erzeugung eingesetzt (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                        |

| Modul                | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                       | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                  |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HW Steinkohle        | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001)                                                                              | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in einem Steinkohle-Heizwerk mit einer Leistung von 50 MW(th) (ifu & ifeu, 2002).                                                |
| HW Steinkohlebrikett | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001)                                                                              | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt ein Steinkohlenbrikett-Heizwerk mit NOx- armer Rostfeuerung mit einer Leistung von 1 MW (ifu & ifeu, 2002).                                                              |
| Prozessdampf         | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- BMWi (2000)<br>- Fritsche et al. (2001)<br>- Frischknecht et al. (1996)<br>- Kohlewirtschaft (2000) | Ende 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland   | Das Modul beschreibt einen mit Erdgas befeuerten mittleren Dampferzeuger, wie er in der Industrie zum Einsatz kommt. Der Leistungsbereich liegt bei 5 bis 20 MW thermisch (ifu & ifeu, 2002). |

| Modul                                  | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                               | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                         | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|------------|----|------------|------|-----|-----|----------|------|-----------|------|--------|------|------|------|-------------------|------|
| Strommix Deutschland (elektr. Energie) | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- BMWi (2000)<br>- Frischknecht et al. (1996) | Ende 90iger Jahre, Deutschland (AKW Anfang 90iger Jahre) | <p>Das Modul beschreibt die mittleren Verhältnisse der öffentlichen Stromerzeugung in Deutschland. Der zugrunde liegende Energiemix aus dem Jahr 1998 ist in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.</p> <table><tr><th>Ressource</th><th>Beitrag zur Stromerzeugung [%]</th></tr><tr><td>Steinkohle</td><td>27</td></tr><tr><td>Braunkohle</td><td>27,3</td></tr><tr><td>Gas</td><td>7,6</td></tr><tr><td>Heizöl S</td><td>0,47</td></tr><tr><td>Kernkraft</td><td>32,5</td></tr><tr><td>Wasser</td><td>3,86</td></tr><tr><td>Wind</td><td>0,34</td></tr><tr><td>Abfallverbrennung</td><td>0,93</td></tr></table> <p>Beim Transport von den Kraftwerken zum Verbraucher erfährt der Strom Umspannungs- und Leitungsverluste, deren Höhe vom Spannungsniveau des nachgefragten Stromes abhängt. Als mittlerer Netzmix wurde folgende Verteilung angenommen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Hochspannung: 20 %</li><li>- Mittelspannung: 30 %</li><li>- Niederspannung: 50 %</li></ul> <p>Das Modul umfasst die Kraftwerksprozesse zur Stromerzeugung mit Stein- und Braunkohle, Erd-, Koks- und Hochofengas und Kern-, Wasser- und Windkraft sowie die zugehörigen Brennstoffvorketten für Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Kokerei- und Hochofengas und Brennelemente als auch die Deponierung oder Verbrennung von Abfällen (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> | Ressource | Beitrag zur Stromerzeugung [%] | Steinkohle | 27 | Braunkohle | 27,3 | Gas | 7,6 | Heizöl S | 0,47 | Kernkraft | 32,5 | Wasser | 3,86 | Wind | 0,34 | Abfallverbrennung | 0,93 |
| Ressource                              | Beitrag zur Stromerzeugung [%]                                                                  |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Steinkohle                             | 27                                                                                              |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Braunkohle                             | 27,3                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Gas                                    | 7,6                                                                                             |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Heizöl S                               | 0,47                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Kernkraft                              | 32,5                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Wasser                                 | 3,86                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Wind                                   | 0,34                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Abfallverbrennung                      | 0,93                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |

| Modul                            | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                        | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität              | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Basismodule Energieträger</i> |                                                                                                                                                                                                                          |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Bereitstellung Braunkohle        | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fritsche et al. (2001)</li> <li>- Frischknecht et al. (1996)</li> </ul>                                                          | Anfang 90iger Jahre, Durchschnitt Deutschland | Das Modul beschreibt den Abbau, die Förderung und den Transport von rheinischer Braunkohle. In Deutschland wird nahezu ausschließlich Braunkohle aus heimischer Förderung verwendet. Dabei werden die Abbaubereiche aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzungen der verschiedenen Braunkohlen in rheinisch, westfälisch und ostfälisch unterteilt. Die rheinische Braunkohle wird ausschließlich im Tagebau abgebaut. Der Transport zum Industriebetrieb, zum Kraftwerk oder zum Brikettwerk wird aufgrund der kurzen Entfernung innerhalb des rheinischen Reviers vernachlässigt (ifu & ifeu, 2002). |
| Bereitstellung Erdgas            | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf <ul style="list-style-type: none"> <li>- BMWi (2000)</li> <li>- Fritsche et al. (2001)</li> <li>- Frischknecht et al. (1996)</li> <li>- Kohlewirtschaft (2000)</li> </ul> | Anfang 90iger Jahre, Durchschnitt Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung und Aufbereitung von durchschnittlichem in Deutschland eingesetztem Erdgas. Der Durchschnitt setzt sich aus einem Split (bezogen auf den Heizwert) wie folgt zusammen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deutschland: 21 %</li> <li>- ehem. GUS: 36 %</li> <li>- Niederlande: 22 %</li> <li>- Norwegen: 21 %</li> </ul> Der Transport des Erdgases erfolgt bis an das Kraftwerk bzw. den Industriebetrieb (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                    |
| Bereitstellung Heizöl leicht     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fritsche et al. (2001)</li> <li>- Frischknecht et al. (1996)</li> </ul>                                                          | Anfang 90iger Jahre, Durchschnitt Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung, den Transport und die Raffination des in Deutschland verwendeten Heizöls EL. Heizöl EL wird aus importiertem Erdöl in heimischen Raffinerien hergestellt. Die Herkunft wird nach den Herstellern D, EU, ehem. GUS und OPEC unterschieden. Im Anschluss an die Raffinerie wird das erzeugte Heizöl EL über nationale bzw. regionale Verteilungsstrukturen mittels Bahn zum Kraftwerk oder dem Industriebetrieb gebracht (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                             |

| Modul                           | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bereitstellung<br>Heizöl schwer | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Fritsche et al. (1994)                                               | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung, den Transport und die Refination des in Deutschland verwendeten Heizöls S. Heizöl S wird dabei sowohl direkt importiert als auch aus importiertem Erdöl in heimischen Raffinerien hergestellt. Die Herkunft wird nach den Herstellern ehem. GUS, EU und OPEC unterschieden. Im Anschluss an die Raffinerie wird das erzeugte Heizöl S über nationale bzw. regionale Verteilungsstrukturen mittels Bahn zum Kraftwerk oder dem Industriebetrieb gebracht (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                |
| Bereitstellung<br>Steinkohle    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Kohlewirtschaft (2000)                                 | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Die Transition beschreibt den Abbau, die Förderung und den Transport von in Deutschland verwendeter Steinkohle. Der Datensatz stellt einen Mischdatensatz aus den verschiedenen Import-Steinkohlen nach Kohlewirtschaft (2000) dar. Insgesamt werden ca. 1/3 der in Deutschland verwendeten Steinkohle importiert. Die restlichen 2/3 stammen aus deutscher Förderung. Der Steinkohlensplit setzt sich wie folgt zusammen (ifu & ifeu, 2002):<br><ul style="list-style-type: none"> <li>- BRD 62,1 %</li> <li>- Polen (u. Osteuropa): 12,5 %</li> <li>- Südafrika: 10,2 %</li> <li>- Kolumbien/Kanada/USA: 7,8 %</li> <li>- Australien: 4,1 %</li> <li>- Niederlande (u. sonst. Westeuropa): 3,3 %.</li> </ul> |
| <b>Basismodule Hilfsstoffe</b>  |                                                                                                            |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Diesel                          | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001)<br>- Frischknecht et al. (1996) | Anfang 90iger Jahre,<br>Deutschland                 | Das Modul beschreibt die Förderung, den Transport und die Refination des in Deutschland verwendeten Diesels. Diesel wird aus importiertem Erdöl in heimischen Raffinerien hergestellt. Die Herkunft wird nach den Herstellern D, EU, GUS und OPEC unterschieden. Im Anschluss an die Raffinerie wird das Diesel über nationale bzw. regionale Verteilungsstrukturen mittels Tankfahrzeugen zur Tankstelle gebracht (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| Modul                         | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                               | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Druckluft                     | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Bahr (1997)<br>- Gloor, R. (2000)<br>- Mackensen (1995)<br>- Ruppelt (1996)<br>- Ostermayer et al. (1999) | 2000, Deutschland                | Das Modul beschreibt die Druckluftbereitstellung aus elektrischer Energie einer stationären Anlage, die aus den Komponenten Luftfilter, Kompressor (ölgekühlt), Speicher, Leitungen und Kondensataufbereitung besteht. Der Druckbereich der abgebildet werden kann, liegt zwischen 2 und 12 bar für Kompressoren mit mindestens 1 kW el. Aufnahmeleistung (ifu & ifeu, 2002). |
| Heizgas                       | Keine Daten verfügbar                                                                                                                           |                                  | Durch ein Modul zur Erzeugung thermischer Energie im HW Erdgas angenähert.                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Kälte                         | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Frischknecht (1999)                                                                         | Ende 90iger Jahre, Schweiz       | Das Modul beschreibt eine Kälteanlage für die industrielle Tiefkühlung mit einer Kälteleistung von 120 kW. Als Kälte Träger wird dabei ein Solesatz verwendet (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                             |
| <b>Basismodule Transporte</b> |                                                                                                                                                 |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Bahn                          | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Borken et al. (1999)                                                                                      | 1996, Deutschland                | Das Modul beschreibt den Güterbahntransport der Deutschen Bundesbahn inklusive der Bereitstellung der notwendigen Sekundärenergien Diesel und Strom. Die Spezifikation des Transports wird über die Transportentfernung oder die Transportleistung sowie über die Zugart (Ganzzug, kombinierter Ladungsverkehr, Einzelwagenzug) vorgenommen (ifu & ifeu, 2002).               |

| Modul           | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>1</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>2</sup> , Transporte <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------|-------------------|-------|---------------|--------|------------|-------------|--------|------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|-----------------|--------|------|-----------------|---|--------|
| Lkw             | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Borken et al. (1998)<br>- Knörr et al. (1998)<br>- Schmidt et al. (1998) | 1996, Deutschland                | <p>Das Modul beschreibt den Lkw-Transport von Gütern inklusive der Bereitstellung des notwendigen Kraftstoffes. Zur Spezifikation können als Parameter die Transportentfernung oder Transportleistung, der Auslastungsgrad der Hin- und Rückfahrt, der Fahrzeugtyp und die Fahrleistungsanteile auf Autobahn, Landstraßen und Innerortsstraßen definiert werden (ifu &amp; ifeu, 2002). In der nachfolgenden Tabelle sind die zur Verfügung stehenden Lkw-Fahrzeugklassen zusammengefasst.</p> <table><tr><th></th><th>Zulässiges Gesamtgewicht</th><th>Maximale Nutzlast</th></tr><tr><td>1 LKW</td><td>3,5 bis 7,5 t</td><td>3,75 t</td></tr><tr><td>2 Solo Lkw</td><td>14 bis 20 t</td><td>10,5 t</td></tr><tr><td>3 Solo Lkw</td><td>&gt; 20 t</td><td>15,3 t</td></tr><tr><td>4 Lkw/Sattelzug</td><td>&lt; 32 t</td><td>20,5 t</td></tr><tr><td>5 Lkw/Sattelzug</td><td>&gt; 32 t</td><td>28 t</td></tr><tr><td>6 Mittlerer Lkw</td><td>-</td><td>17,5 t</td></tr></table> |  | Zulässiges Gesamtgewicht | Maximale Nutzlast | 1 LKW | 3,5 bis 7,5 t | 3,75 t | 2 Solo Lkw | 14 bis 20 t | 10,5 t | 3 Solo Lkw | > 20 t | 15,3 t | 4 Lkw/Sattelzug | < 32 t | 20,5 t | 5 Lkw/Sattelzug | > 32 t | 28 t | 6 Mittlerer Lkw | - | 17,5 t |
|                 | Zulässiges Gesamtgewicht                                                                                       | Maximale Nutzlast                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 1 LKW           | 3,5 bis 7,5 t                                                                                                  | 3,75 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 2 Solo Lkw      | 14 bis 20 t                                                                                                    | 10,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 3 Solo Lkw      | > 20 t                                                                                                         | 15,3 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 4 Lkw/Sattelzug | < 32 t                                                                                                         | 20,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 5 Lkw/Sattelzug | > 32 t                                                                                                         | 28 t                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 6 Mittlerer Lkw | -                                                                                                              | 17,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| Seeschiff       | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Borken et al. (1998)                                                     | 1996                             | <p>Das Modul beschreibt den Hochseeschiff-Transport von Gütern inklusive der Bereitstellung des notwendigen Kraftstoffes. Die Spezifikation des Transportes wird über die Transportentfernung oder die Transportleistung sowie über die Schiffskategorie (Stückgutfrachter, Massengutschiffe, Tanker) vorgenommen (ifu &amp; ifeu, 2002).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |

### 1.1.3 Überblick Transporte

Tabelle 1-2 bis Tabelle 1-6 fassen die modellierten Transporte zusammen. Neben dem Transportmittel Lkw, Bahn oder Schiff unterscheiden sich die verwendeten Datensätze auch in der Angabe der zurückzulegenden Strecke. Zum einen war die tatsächliche Transportentfernung anzugeben, zum anderen wurde die Strecke aus der Angabe der Transportleistung in Tonnenkilometer (tkm) errechnet. Eine Beschreibung der Transportmodule befindet sich in Tabelle 1-1.

Tabelle 1-2: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportentfernung

| Transport                                                  | Entfernung<br>[km] | Auslastung [%] |           | Nutzlast<br>[t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|-----------|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                            |                    | Hinfahrt       | Rückfahrt |                 | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| Abfall zur Hausmülldeponie                                 | 25                 | 50             | 50        | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Abfall zur Müllverbrennungsanlage                          | 25                 | 50             | 50        | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Abfall zur Schlackedeponie (Inertstoffdeponie)             | 25                 | 100            | 0         | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Aktivkohle vom Hersteller zur Riboseproduktion             | 300                | 60             | 40        | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Ammoniak vom Hersteller zur Ammoniumsulfat-Produktion      | 300                | 60             | 40        | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Ammoniak vom Hersteller zum Verbraucher (Äquivalenzsystem) | 300                | 60             | 40        | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Ammoniumsulfat vom Hersteller zur Riboseproduktion         | 300                | 60             | 40        | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Anilin vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion            | 261                | 60             | 40        | 17,5            | 96                  | 3                | 1         |
| Clarcel vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion           | 300                | 60             | 40        | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Entschäumer vom Hersteller zur Riboseproduktion            | 300                | 60             | 40        | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Essigsäure vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion        | 330                | 60             | 40        | 17,5            | 97                  | 2                | 1         |
| Erdgas zur Vitamin B2-Produktion                           | 100                | 60             | 40        | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Mais vom Feld zum Zwischenlager                            | 4                  | 100            | 0         | 28              | 0                   | 100              | 0         |
| Mais vom Zwischenlager zur Stärkegewinnung                 | 100                | 100            | 50        | 28              | 50                  | 30               | 20        |

| Transport                                                         | Entfernung<br>[km] | Auslastung [%] |                | Nutzlast<br>[t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                   |                    | Hinfahrt       | Rück-<br>fahrt |                 | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| Glukose vom Hersteller zur Riboseproduktion                       | 330                | 60             | 40             | 17,5            | 97                  | 2                | 1         |
| Glukosesirup vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion             | 330                | 60             | 40             | 17,5            | 97                  | 2                | 1         |
| Harnstoff vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion                | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Hefeextrakt vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion              | 146                | 60             | 40             | 17,5            | 67                  | 25               | 8         |
| Isobutanol vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion               | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Kalium-Dünger vom Hersteller zum Verbraucher (Äquivalenzsystem)   | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Kalkdünger vom Hersteller zum Verbraucher (Äquivalenzsystem)      | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Kartoffelstärke vom Hersteller zur Riboseproduktion               | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Magnesiumsulfat vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion          | 518                | 60             | 40             | 17,5            | 98                  | 1                | 1         |
| Maisquellwasser vom der Stärkeproduktion zur Riboseproduktion     | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Maniocastärke vom der Stärkeproduktion zur Riboseproduktion       | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Methanol zur Methanol/Xylidin-Gemisch-Herstellung                 | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Methanol vom Hersteller zum Verbraucher (Äquivalenzsystem)        | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Methanol/Xylidin-Gemisch vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion | 58                 | 100            | 0              | 17,5            | 69                  | 21               | 10        |
| Monochloressigsäure vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion      | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natriumcarbonat vom Hersteller zur Natriumnitrat-Produktion       | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natriumcyanid-Lösung vom Hersteller nach Grenzach                 | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natriumnitrat vom Hersteller nach Grenzach                        | 100                | 60             | 40             | 17,5            | 78                  | 15               | 7         |
| Natronlauge (25%) vom Hersteller zur Riboseproduktion             | 689                | 60             | 40             | 17,5            | 96                  | 3                | 1         |
| Natronlauge (48%) vom Hersteller zur Riboseproduktion             | 689                | 60             | 40             | 17,5            | 96                  | 3                | 1         |

| Transport                                                           | Entfernung<br>[km] | Auslastung [%] |                | Nutzlast<br>[t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                     |                    | Hinfahrt       | Rück-<br>fahrt |                 | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| Phosphor-Dünger vom Hersteller zum Verbraucher (Äquivalenzsystem)   | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Ribose vom Hersteller (Japan) zum Hafen (1)                         | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Ribose vom Hafen (Deutschland) zur Vitamin B2-Produktion (3)        | 819                | 60             | 40             | 17,5            | 98                  | 1                | 1         |
| Radiolite vom Hersteller zur Riboseproduktion                       | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Salpetersäure vom Hersteller zur Natriumnitrat-Produktion           | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Schwefelsäure vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion              | 261                | 60             | 40             | 17,5            | 97                  | 2                | 1         |
| Schwefelsäure vom Hersteller zur Ammoniumsulfat-Produktion          | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Sorbitolsirup vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion              | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Stickstoff vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion                 | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Stickstoff vom Hersteller zur Riboseproduktion                      | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Stickstoff-Dünger vom Hersteller zum Verbraucher (Äquivalenzsystem) | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Wasserstoff vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion                | 472                | 60             | 40             | 17,5            | 93                  | 5                | 2         |
| Xylidin vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion                    | 58                 | 100            | 0              | 17,5            | 69                  | 21               | 10        |

Tabelle 1-3: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportleistung

| Transport                                                                              | Transportleistung [tkm] | Auslastung [%] |           | Nutzlast [t] | Fahrbahnanteile [%] |             |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------|--------------|---------------------|-------------|-----------|
|                                                                                        |                         | Hinfahrt       | Rückfahrt |              | Autobahn            | Landstrasse | Innerorts |
| Abfälle zur Inertstoffdeponie (nur für Natriumkarbonat-Produktion (1))                 | 0,0505                  | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26          | 13        |
| Benzol und Wasserstoff von den Herstellern zur Anilin-Produktion (1)                   | 0,136                   | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26          | 13        |
| Chlor und Wasserstoff von den Hersteller zur Salzsäure-Produktion (1)                  | 0,05                    | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26          | 13        |
| Cyanidwasserstoff und Natronlauge von den Herstellern zur Natriumcyanid-Produktion (1) | 0,104                   | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26          | 13        |
| Essigsäure und Chlor von den Herstellern zur Monochloressigsäure-Produktion (1)        | 0,142                   | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26          | 13        |
| Methanol und Kohlenmonoxid von den Herstellern zur Essigsäure-Produktion (1)           | 0,0986                  | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26          | 13        |
| Natriumchlorid und Kalkstein von den Herstellern zur Natriumkarbonat-Produktion        | 0,0505                  | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26          | 13        |
| Propylen und Wasserstoff von den Herstellern zur 1-Butanol-Produktion (1)              | 0,0722                  | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26          | 13        |

Tabelle 1-4: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportentfernung

| Transport                                             | Entfernung [km] | Traktionsart | Zuggattung     |
|-------------------------------------------------------|-----------------|--------------|----------------|
|                                                       |                 |              |                |
| Ammoniak vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion     | 300             | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Biomasse von der Vitamin B2-Produktion zur Verwertung | 600             | Diesel       | Ganzzug        |
| Kalilauge vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion    | 261             | Diesel       | Einzelwagenzug |

| Transport                                                  | Entfernung [km] | Traktionsart | Zuggattung     |
|------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|----------------|
| Natronlauge (25%) vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion | 472             | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Natronlauge (50%) vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion | 472             | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Phosphorsäure vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion     | 330             | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Salzsäure vom Hersteller zur Vitamin B2-Produktion         | 472             | Diesel       | Einzelwagenzug |

Tabelle 1-5: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportleistung

| Transport                                                                              | Transportleistung [tkm] | Traktionsart | Zuggattung     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|----------------|
| Benzol und Wasserstoff von den Herstellern zur Anilin-Produktion (2)                   | 0,814                   | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Chlor und Wasserstoff von den Hersteller zur Salzsäure-Produktion (2)                  | 0,1                     | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Cyanidwasserstoff und Natronlauge von den Herstellern zur Natriumcyanid-Produktion (2) | 0,625                   | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Essigsäure und Chlor von den Herstellern zur Monochloressigsäure-Produktion (2)        | 0,852                   | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Methanol und Kohlenmonoxid von den Herstellern zur Essigsäure-Produktion (2)           | 0,592                   | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Propylen und Wasserstoff von den Herstellern zur 1-Butanol-Produktion (2)              | 0,435                   | Diesel       | Einzelwagenzug |

Tabelle 1-6: Parameter zur Modellierung der Schiffrtransporte

| Transport                             | Entfernung [km] | Schiffstyp       |
|---------------------------------------|-----------------|------------------|
| Ribose von Japan nach Deutschland (3) | 20507           | Stückgutfrachter |

## 1.1.4 Stoff- und Energiebilanzen (Sachbilanz)

Tabelle 1-7: Szenario BIOTECHNISCHER PROZESS - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme)

| Input                           |                         | Output                               |                          |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Chemische Grundstoffe           |                         | Abfälle                              |                          |
| Chem. Grundstoffe, anorg.       |                         | Abfälle zur Beseitigung              |                          |
| Ammoniak                        | 2,83E+01 kg             | Abfälle, hausmüllähnlich             | 2,88E+00 kg              |
| Chlor                           | 5,32E+00 kg             | Abfälle, unspezifiziert              | 2,72E+01 kg              |
| Natriumhydroxid                 | 1,43E+01 kg             | Abraum                               | 5,92E+04 kg              |
| Salzsäure                       | 1,35E+02 kg             | Altöl                                | 4,73E-02 kg              |
| Schwefelsäure                   | 4,15E-04 kg             | Aschen u. Schlacken                  | 4,66E+01 kg              |
| Chem. Grundstoffe, org.         |                         | Kältemittel                          | 1,23E-03 kg              |
| Schmieröl                       | 6,29E-03 kg             | Klärschlamm                          | 4,94E-01 kg              |
| Energieträger, sekundär         |                         | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 5,17E-09 m <sup>3</sup>  |
| Brennstoffe, fest/flüssig       |                         | Sonderabfall                         | 1,13E-01 kg              |
| Diesel                          | 3,25E-02 kg             | Sondermüll                           | 7,55E-06 kg              |
| Heizöl, leicht                  | 3,84E-03 kg             | Abfälle zur Verwertung               |                          |
| Feinchemikalien                 |                         | Aschen u. Schlacken                  | 5,25E-01 kg              |
| Fällungsmittel                  | 3,11E+02 kg             | Filterstaub                          | 4,33E+01 kg              |
| Kumulierter Energieaufwand      |                         | Gips (REA)                           | 1,50E+02 kg              |
| KEA (Kernenergie)               | 9,54E+07 kJ             | Grobasche                            | 6,47E+00 kg              |
| KEA (Wasserkraft)               | 2,30E+06 kJ             | Natriumsulfat                        | 1,42E+00 kg              |
| KEA solar                       | 1,41E+05 MJ             | Organik                              |                          |
| KEA, fossil gesamt              | 3,28E+08 kJ             | Klärschlamm, 20 % TS                 | 6,92E+01 kg              |
| KEA, regenerativ                | 4,61E+03 kJ             | Schmelzkammergranulat                | 5,43E+01 kg              |
| KEA, sonst. regenerative        | 2,33E+06 kJ             | Wirbelschichtasche                   | 4,33E+00 kg              |
| KEA, sonstige                   | 4,33E+03 kJ             | Abfälle, unspezifiziert              | 8,42E-02 kg              |
| KEA, unsez.                     | 5,95E+05 kJ             | Emissionen (Luft)                    |                          |
| Mineralien und Erze             |                         | Abgas (trocken Nomvol.)              | 7,24E+03 Nm <sup>3</sup> |
| Branntkalk                      | 2,01E+01 kg             | Abgas (trocken Normvolumen) (L)      | 2,72E+05 Nm <sup>3</sup> |
| Kalkstein                       | 1,53E-02 kg             | Abwärme (L)                          | 1,18E+08 kJ              |
| Schwefel                        | 3,66E-06 kg             | Partikel (L)                         | 8,77E-01 kg              |
| Naturraum                       |                         | Staub (>PM10) (L)                    | 2,56E-01 kg              |
| Fläche K6 (BRD)                 | 1,41E+04 m <sup>2</sup> | Staub (L)                            | 1,21E+01 kg              |
| Fläche, unsez.                  | 2,34E-04 m <sup>2</sup> | Staub (PM10) (L)                     | 4,83E-01 kg              |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL) |                         | Staub (PM2,5) (L)                    | 7,95E-03 kg              |
| Energieträger (RiL)             |                         | Verbindungen, anorg. (L)             |                          |
| Erdgas (RiL)                    | 3,42E+03 kg             | Ammoniak (L)                         | 8,61E+00 kg              |
| Erdöl (RiL)                     | 1,61E+03 kg             | Chlor (L)                            | 2,43E+00 kg              |
| Kohlen (RiL)                    |                         | Chlorwasserstoff (L)                 | 9,12E-01 kg              |
| Braunkohle (RiL)                | 6,51E+03 kg             | Cyanwasserstoff (L)                  | 1,20E-23 kg              |
| Kohle, unsez. (RiL)             | 6,81E-02 kg             | Distickstoffmonoxid (L)              | 6,56E+00 kg              |
| Steinkohle (RiL)                | 2,39E+03 kg             | Fluor (L)                            | 1,74E-06 kg              |
| Uran (RiL)                      | 1,33E-01 kg             | Fluorwasserstoff (L)                 | 6,69E-02 kg              |
| Nichtenergieträger (RiL)        |                         | Kohlendioxid (L)                     |                          |
| Mineralien und Erze (RiL)       |                         | Kohlendioxid, fossil (L)             | 2,48E+04 kg              |

| Input                                              |             | Output                        |             |
|----------------------------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Eisenerz (RiL)                                     | 5,48E+01 kg | Kohlendioxid, regenerativ (L) | 1,03E+02 kg |
| Kaliumchlorid (RiL)                                | 1,27E+02 kg | Kohlendioxid, unspez. (L)     | 2,43E+00 kg |
| Kalkstein (RiL)                                    | 4,35E+02 kg | Kohlenmonoxid (L)             | 1,69E+01 kg |
| Natriumchlorid (RiL)                               | 2,34E+03 kg | Metalle (L)                   |             |
| Rohkali (RiL)                                      | 5,16E+02 kg | Antimon (L)                   | 2,36E-05 kg |
| Rohphosphat (RiL)                                  | 8,28E+02 kg | Arsen (L)                     | 2,28E-04 kg |
| Sand (RiL)                                         | 5,63E+00 kg | Beryllium (L)                 | 2,82E-05 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL)                         |             | Blei (L)                      | 3,06E-04 kg |
| Metalle (RiL)                                      |             | Cadmium (L)                   | 9,92E-05 kg |
| Eisen (Fe) (RiL)                                   | 1,57E+00 kg | Chrom (L)                     | 1,18E-04 kg |
| Schwefel (RiL)                                     | 2,60E+02 kg | Kobalt (L)                    | 2,04E-05 kg |
| Stoffe, diverse                                    |             | Kupfer (L)                    | 1,05E-04 kg |
| verschiedene Stoffe für die Vitamin B2-Herstellung | 5,50E+02 kg | Mangan (L)                    | 1,02E-04 kg |
| Alpha-Amylase                                      | 1,63E+01 kg | Metalle, unspez. (L)          | 5,81E-03 kg |
| Magnesiumsulfat                                    | 1,09E+01 kg | Nickel (L)                    | 4,20E-03 kg |
| Natriumbisulfit                                    | 2,31E+01 kg | Quecksilber (L)               | 2,97E-04 kg |
| Natriumkarbonat                                    | 1,63E+01 kg | Selen (L)                     | 1,64E-03 kg |
| Calciumchlorid                                     | 1,63E+01 kg | Thallium (L)                  | 4,37E-06 kg |
| Betriebsstoffe                                     |             | Uran (L)                      | 8,09E-05 kg |
| Aktivkohle                                         | 5,45E+00 kg | Vanadium (L)                  | 2,26E-05 kg |
| Kühllöl                                            | 4,16E-02 kg | Zink (L)                      | 7,69E-04 kg |
| Luft                                               | 1,11E-04 kg | Zinn (L)                      | 7,93E-05 kg |
| Wasser                                             |             | NOx (L)                       | 7,08E+01 kg |
| Brauch-/Trinkwasser                                |             | Radionuklide (L)              |             |
| Kühlwasser                                         | 4,38E+06 kg | Radionuklide, gesamt (L)      | 8,13E+09 Bq |
| Wasser (Kesselspeise)                              | 1,11E+06 kg | Schwefel (L)                  | 1,22E-05 kg |
| Wasser (Prozess)                                   | 2,00E+03 kg | Schwefeldioxid (L)            | 5,64E+01 kg |
| Wasser, entionisiert                               | 5,53E+04 kg | Schwefelwasserstoff (L)       | 7,25E-05 kg |
| Wasser, entkalkt                                   | 1,26E+03 kg | Stickstoffdioxid (L)          | 2,77E+00 kg |
| Wasser, unspez.                                    | 4,27E+06 kg | VOC (L)                       |             |
| Rohwasser                                          |             | Methan (L)                    | 4,26E+01 kg |
| Grundwasser                                        | 8,22E+01 kg | NM VOC (L)                    |             |
|                                                    |             | NM VOC aus Dieselemiss. (L)   | 4,53E-02 kg |
|                                                    |             | NM VOC, aromat., unspez. (L)  | 1,42E-08 kg |
|                                                    |             | NM VOC, halog. (L)            |             |
|                                                    |             | NM VOC, chlor. (L)            |             |
|                                                    |             | NM VOC, chlor, aromat. (L)    |             |
|                                                    |             | Chlorbenzole (L)              | 1,39E-12 kg |
|                                                    |             | Chlorphenole (L)              | 2,79E-12 kg |
|                                                    |             | PCB (L)                       | 1,39E-14 kg |
|                                                    |             | PCDD, PCDF (L)                | 7,46E-08 kg |
|                                                    |             | NM VOC, chlor., unspez. (L)   | 7,37E-11 kg |
|                                                    |             | NM VOC, fluor. (L)            |             |
|                                                    |             | Perfluorethan (L)             | 4,89E-07 kg |
|                                                    |             | Perfluormethan (L)            | 5,25E-09 kg |
|                                                    |             | NM VOC, nichthalog. (L)       |             |

| Input | Output                                   |
|-------|------------------------------------------|
|       | Aldehyde (L)                             |
|       | Formaldehyd (L) 1,84E-01 kg              |
|       | Alkane (L)                               |
|       | Hexan (L) 2,21E-03 kg                    |
|       | andere S (und O)-haltige Verb. (L)       |
|       | Mercaptane (L) 3,05E-16 kg               |
|       | Aromatische Verbindungen (L)             |
|       | aromatische KW (L)                       |
|       | Benzol (L) 5,57E-02 kg                   |
|       | PAK (L)                                  |
|       | Benzo(a)pyren (L) 7,16E-06 kg            |
|       | PAK ohne B(a)P (L) 3,89E-04 kg           |
|       | PAK, unspez. (L) 5,88E-10 kg             |
|       | NMVOC, unspez. (L) 3,68E+00 kg           |
|       | VOC (Kohlenwasserstoffe) (L) 1,81E+01 kg |
|       | VOC, unspez. (L) 7,25E-05 kg             |
|       | Emissionen (Wasser)                      |
|       | Emissionen (W)                           |
|       | Abwärme (W) 2,54E+07 kJ                  |
|       | Feststoffe, gelöst (W) 1,44E-01 kg       |
|       | Feststoffe, suspendiert (W) 4,45E+00 kg  |
|       | Verbindungen, anorganisch (W)            |
|       | Bor (W) 1,53E-06 kg                      |
|       | Chlor (W) 1,64E-02 kg                    |
|       | Chlorid (W) 1,01E+02 kg                  |
|       | Cyanid (W) 1,44E-06 kg                   |
|       | Fluor (W) 1,53E-04 kg                    |
|       | Fluorid (W) 2,48E-03 kg                  |
|       | Metalle (W)                              |
|       | Aluminium (W) 4,22E-04 kg                |
|       | Antimon (W) 1,88E-08 kg                  |
|       | Arsen (W) 5,26E-05 kg                    |
|       | Barium (W) 2,50E-04 kg                   |
|       | Beryllium (W) 3,29E-06 kg                |
|       | Blei (W) 5,62E-03 kg                     |
|       | Cadmium (W) 1,32E-05 kg                  |
|       | Calcium (W) 9,46E+01 kg                  |
|       | Chrom (W) 2,29E-04 kg                    |
|       | Cobalt (W) 7,92E-07 kg                   |
|       | Eisen (W) 2,96E-10 kg                    |
|       | Kupfer (W) 5,30E-05 kg                   |
|       | Mangan (W) 1,10E-02 kg                   |
|       | Metalle, unspez. (W) 2,28E-01 kg         |
|       | Molybdän (W) 1,37E-03 kg                 |
|       | Natrium (W) 1,01E+01 kg                  |
|       | Nickel (W) 1,14E-04 kg                   |
|       | Quecksilber (W) 2,38E-07 kg              |

| Input | Output                                              |
|-------|-----------------------------------------------------|
|       | Selen (W) 4,09E-04 kg                               |
|       | Uran (W) 1,81E-03 kg                                |
|       | Vanadium (W) 1,06E-03 kg                            |
|       | Zink (W) 3,26E-04 kg                                |
|       | Zinn (W) 8,02E-07 kg                                |
|       | Phosphorverbind. als P (W) 5,00E+00 kg              |
|       | Radionuklide (W)                                    |
|       | Radionuklide, gesamt (W) 4,84E+07 kBq               |
|       | Salze, anorg. (W) 8,34E-06 kg                       |
|       | Säuren als H(+) (W) 8,71E-01 kg                     |
|       | Stickstoffverbindungen (W)                          |
|       | Ammoniak (W) 5,49E-03 kg                            |
|       | Ammonium (W) 8,16E+00 kg                            |
|       | Nitrat (W) 2,00E+01 kg                              |
|       | Nitrat als N (W) 9,53E-05 kg                        |
|       | Salpetersäure (W) 2,57E-04 kg                       |
|       | Stickstoffverb., unspez. (W) 1,13E-10 kg            |
|       | Stickstoffverbind. als N (W) 5,73E-04 kg            |
|       | Sulfat (W) 2,67E+01 kg                              |
|       | Sulfid (W) 1,67E-05 kg                              |
|       | Verbindungen, organisch (W)                         |
|       | Detergenzien, Öl (W) 2,61E-10 kg                    |
|       | halog. org. Verbindungen (W)                        |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)                        |
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)                    |
|       | PCB (W) 1,84E-09 kg                                 |
|       | Verbindungen, org., chlor., unspez. (W) 2,12E-13 kg |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)                   |
|       | KW (W)                                              |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W) 1,79E-05 kg         |
|       | Öl (W) 5,85E-04 kg                                  |
|       | PAK (W)                                             |
|       | Benzo(a)pyren (W) 1,13E-10 kg                       |
|       | PAK ohne B(a)P (W) 1,01E-10 kg                      |
|       | Phenole (W) 2,68E-06 kg                             |
|       | Verbindungen, org., gelöst (W) 5,30E-11 kg          |
|       | Indikatorparameter                                  |
|       | AOX (W) 2,60E-06 kg                                 |
|       | BSB-5 (W) 9,79E-01 kg                               |
|       | CSB (W) 7,07E+01 kg                                 |
|       | TOC (W) 2,58E-02 kg                                 |
|       | Energieträger, sekundär                             |
|       | Energie, elektrisch 6,43E+06 kJ                     |
|       | Energie, thermisch 1,31E+07 kJ                      |
|       | Feinchemikalien                                     |
|       | Dünger                                              |
|       | K-Dünger (als K <sub>2</sub> O) 2,27E+01 kg         |

| Input | Output                                                           |
|-------|------------------------------------------------------------------|
|       | N-Dünger (als N) 2,65E+01 kg                                     |
|       | P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) 1,51E+01 kg        |
|       | Import Materials                                                 |
|       | Staub (PM 10) (L) 2,58E-02 kg                                    |
|       | Mineralien                                                       |
|       | Gips (REA) 2,95E-03 kg                                           |
|       | Naturraum                                                        |
|       | Deponievolumen 8,06E-02 m <sup>3</sup>                           |
|       | Landwirtschaftliche Fläche 1,41E+04 m <sup>2</sup>               |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert 7,89E-05 m <sup>3</sup>   |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert 2,20E-05 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel. 1,20E-04 m <sup>3</sup>    |
|       | Stoffe, diverse                                                  |
|       | Abgas (m <sup>3</sup> ) 1,26E+04 m <sup>3</sup>                  |
|       | B2>98% 1,67E+02 kg                                               |
|       | B2-96% 1,00E+03 kg                                               |
|       | Kompost (60% TS) auf Feld aufgebracht 3,15E+03 kg                |
|       | Wasser                                                           |
|       | Abwasser                                                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung) 1,11E+06 kg                        |
|       | Abwasser (Kühlwasser) 1,58E+06 kg                                |
|       | Abwasser (Prozess) 2,06E+02 kg                                   |
|       | Abwasser, geklärt 3,74E+05 kg                                    |
|       | Abwasser, unspez. 3,95E-01 kg                                    |
|       | Kondensat 3,90E+01 kg                                            |
|       | Sickerwasser, diffus 2,19E+00 kg                                 |
|       | Sickerwasser, gefaßt 4,44E-01 kg                                 |
|       | Wasserdampf 2,81E+06 kg                                          |

Tabelle 1-8: Szenario BIOTECHNISCHER PROZESS - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme)

| Input                                         |                         | Output                               |                         |
|-----------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Energieträger, primär                         |                         | Abfälle                              |                         |
| Energieträger, fossil                         |                         | Abfälle zur Beseitigung              |                         |
| Erdöl                                         | 4,65E+01 kg             | Abfälle aus REA                      | 6,73E-01 kg             |
| Kohle                                         |                         | Abraum                               | 6,36E+03 kg             |
| Braunkohle                                    | 7,19E-01 kg             | Aschen u. Schlacken                  | 8,65E-01 kg             |
| Steinkohle                                    | 3,24E-01 kg             | Klärschlamm                          | 4,87E-02 kg             |
| Energieträger, sekundär                       |                         | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 3,76E-09 m <sup>3</sup> |
| Brennstoffe, gasförmig                        |                         | Sonderabfall                         | 5,17E-03 kg             |
| Erdgas                                        | 9,73E-01 kg             | Abfälle zur Verwertung               |                         |
| Energie, elektrisch                           | 6,43E+06 kJ             | Aschen u. Schlacken                  | 9,18E+00 kg             |
| Energie, thermisch                            | 1,31E+07 kJ             | Filterstaub                          | 4,12E+00 kg             |
| Feinchemikalien                               |                         | Gips (REA)                           | 1,61E+01 kg             |
| Dünger                                        |                         | Grobasche                            | 6,15E-01 kg             |
| K-Dünger (als K <sub>2</sub> O)               | 2,27E+01 kg             | Natriumsulfat                        | 1,35E-01 kg             |
| N-Dünger (als N)                              | 2,65E+01 kg             | Schmelzkammergranulat                | 5,16E+00 kg             |
| P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 1,51E+01 kg             | Wirbelschichtasche                   | 4,12E-01 kg             |
| Kumulierter Energieaufwand                    |                         | Abfälle, unspezifiziert              | 2,88E+00 kg             |
| KEA (Kernenergie)                             | 7,55E+06 kJ             | Emissionen (Luft)                    |                         |
| KEA (Wasserkraft)                             | 2,41E+04 kJ             | Abwärme (L)                          | 1,09E+07 kJ             |
| KEA, fossil gesamt                            | 2,98E+07 kJ             | Partikel (L)                         | 1,20E-01 kg             |
| KEA, regenerativ                              | 1,39E+04 kJ             | Staub (>PM <sub>10</sub> ) (L)       | 1,67E-02 kg             |
| KEA, sonst. regenerative                      | 2,22E+05 kJ             | Staub (L)                            | 3,83E-01 kg             |
| KEA, sonstige                                 | 2,47E+04 kJ             | Staub (PM <sub>10</sub> ) (L)        | 3,91E-02 kg             |
| KEA, unspez.                                  | 5,69E-04 kJ             | Verbindungen, anorg. (L)             |                         |
| Naturraum                                     |                         | Ammoniak (L)                         | 1,91E-01 kg             |
| Fläche K5 (BRD)                               | 1,41E+03 m <sup>2</sup> | Chlorwasserstoff (L)                 | 2,22E-01 kg             |
| Landwirtschaftliche Fläche                    | 1,41E+04 m <sup>2</sup> | Distickstoffmonoxid (L)              | 5,98E-01 kg             |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL)               |                         | Fluor (L)                            | 1,66E-07 kg             |
| Energieträger (RiL)                           |                         | Fluorwasserstoff (L)                 | 1,42E-02 kg             |
| Erdgas (RiL)                                  | 2,54E+02 kg             | Kohlendioxid (L)                     |                         |
| Erdöl (RiL)                                   | 8,53E+01 kg             | Kohlendioxid, fossil (L)             | 2,39E+03 kg             |
| Kohlen (RiL)                                  |                         | Kohlenmonoxid (L)                    | 1,49E+00 kg             |
| Braunkohle (RiL)                              | 8,01E+02 kg             | Metalle (L)                          |                         |
| Steinkohle (RiL)                              | 2,82E+02 kg             | Antimon (L)                          | 2,24E-06 kg             |
| Uran (RiL)                                    | 1,27E-02 kg             | Arsen (L)                            | 1,97E-05 kg             |
| Nichtenergieträger (RiL)                      |                         | Beryllium (L)                        | 2,68E-06 kg             |
| Mineralien und Erze (RiL)                     |                         | Blei (L)                             | 2,91E-05 kg             |
| Kalkstein (RiL)                               | 3,99E+01 kg             | Cadmium (L)                          | 4,46E-06 kg             |
| Natriumchlorid (RiL)                          | 1,37E-01 kg             | Chrom (L)                            | 8,88E-06 kg             |
| Rohkali (RiL)                                 | 2,38E+02 kg             | Kobalt (L)                           | 1,94E-06 kg             |
| Rohphosphat (RiL)                             | 6,15E+01 kg             | Kupfer (L)                           | 1,00E-05 kg             |
| Sand (RiL)                                    | 4,81E-01 kg             | Mangan (L)                           | 9,74E-06 kg             |
| Rohstoffe, elementar (RiL)                    |                         | Nickel (L)                           | 1,66E-04 kg             |
| Schwefel (RiL)                                | 4,21E+00 kg             | Quecksilber (L)                      | 2,63E-05 kg             |

| Input                 |             | Output                        |             |
|-----------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Wasser                |             | Selen (L)                     | 1,56E-04 kg |
| Brauch-/Trinkwasser   |             | Thallium (L)                  | 4,16E-07 kg |
| Kühlwasser            | 4,17E+05 kg | Uran (L)                      | 7,69E-06 kg |
| Wasser (Kesselspeise) | 1,05E+05 kg | Vanadium (L)                  | 2,15E-06 kg |
| Wasser (Prozess)      | 1,83E+02 kg | Zink (L)                      | 7,31E-05 kg |
| Wasser, unspez.       | 1,97E+01 kg | Zinn (L)                      | 7,54E-06 kg |
|                       |             | NOx (L)                       | 5,47E+00 kg |
|                       |             | Radionuklide (L)              |             |
|                       |             | Radionuklide, gesamt (L)      | 7,72E+08 Bq |
|                       |             | Schwefel (L)                  | 1,16E-06 kg |
|                       |             | Schwefeldioxid (L)            | 3,21E+00 kg |
|                       |             | Schwefelwasserstoff (L)       | 1,17E-05 kg |
|                       |             | VOC (L)                       |             |
|                       |             | Methan (L)                    | 5,83E+00 kg |
|                       |             | NMVOC (L)                     |             |
|                       |             | NMVOC, halog. (L)             |             |
|                       |             | NMVOC, chlor. (L)             |             |
|                       |             | NMVOC, chlor, aromat. (L)     |             |
|                       |             | Chlorbenzole (L)              | 1,33E-13 kg |
|                       |             | Chlorphenole (L)              | 2,65E-13 kg |
|                       |             | PCB (L)                       | 1,33E-15 kg |
|                       |             | PCDD, PCDF (L)                | 7,58E-11 kg |
|                       |             | NMVOC, fluor. (L)             |             |
|                       |             | Perfluorethan (L)             | 5,81E-08 kg |
|                       |             | Perfluormethan (L)            | 9,30E-08 kg |
|                       |             | NMVOC, nichthalog. (L)        |             |
|                       |             | Aldehyde (L)                  |             |
|                       |             | Formaldehyd (L)               | 1,72E-02 kg |
|                       |             | Alkane (L)                    |             |
|                       |             | Hexan (L)                     | 2,10E-04 kg |
|                       |             | Aromatische Verbindungen (L)  |             |
|                       |             | aromatische KW (L)            |             |
|                       |             | Benzol (L)                    | 4,33E-03 kg |
|                       |             | PAK (L)                       |             |
|                       |             | Benzo(a)anthrazen (L)         | 2,45E-09 kg |
|                       |             | Benzo(a)pyren (L)             | 4,13E-07 kg |
|                       |             | PAK ohne B(a)P (L)            | 1,24E-05 kg |
|                       |             | NMVOC, unspez. (L)            | 4,01E-01 kg |
|                       |             | VOC, unspez. (L)              | 2,13E-05 kg |
|                       |             | Emissionen (Wasser)           |             |
|                       |             | Emissionen (W)                |             |
|                       |             | Abwärme (W)                   | 2,41E+06 kJ |
|                       |             | Verbindungen, anorganisch (W) |             |
|                       |             | Bor (W)                       | 1,45E-07 kg |
|                       |             | Chlor (W)                     | 1,56E-03 kg |
|                       |             | Chlorid (W)                   | 9,71E-02 kg |
|                       |             | Cyanid (W)                    | 1,36E-07 kg |

| Input | Output                            |              |
|-------|-----------------------------------|--------------|
|       | Fluor (W)                         | 1,45E-05 kg  |
|       | Fluorid (W)                       | 2,36E-04 kg  |
|       | Metalle (W)                       |              |
|       | Aluminium (W)                     | 4,01E-05 kg  |
|       | Antimon (W)                       | 1,79E-09 kg  |
|       | Arsen (W)                         | 5,00E-06 kg  |
|       | Barium (W)                        | 2,37E-05 kg  |
|       | Beryllium (W)                     | 3,13E-07 kg  |
|       | Blei (W)                          | 5,34E-04 kg  |
|       | Cadmium (W)                       | 1,26E-06 kg  |
|       | Chrom (W)                         | 2,18E-05 kg  |
|       | Cobalt (W)                        | 7,53E-08 kg  |
|       | Kupfer (W)                        | 5,04E-06 kg  |
|       | Mangan (W)                        | 1,05E-03 kg  |
|       | Molybdän (W)                      | 1,30E-04 kg  |
|       | Nickel (W)                        | 1,08E-05 kg  |
|       | Quecksilber (W)                   | 2,26E-08 kg  |
|       | Selen (W)                         | 3,88E-05 kg  |
|       | Uran (W)                          | 1,72E-04 kg  |
|       | Vanadium (W)                      | 1,00E-04 kg  |
|       | Zink (W)                          | 3,10E-05 kg  |
|       | Zinn (W)                          | 7,63E-08 kg  |
|       | Phosphorverbind. als P (W)        | 3,29E-06 kg  |
|       | Radionuklide (W)                  |              |
|       | Radionuklide, gesamt (W)          | 4,60E+06 kBq |
|       | Salze, anorg. (W)                 | 1,74E-06 kg  |
|       | Stickstoffverbindungen (W)        |              |
|       | Ammoniak (W)                      | 5,22E-04 kg  |
|       | Ammonium (W)                      | 2,01E-03 kg  |
|       | Nitrat (W)                        | 2,90E-04 kg  |
|       | Salpetersäure (W)                 | 2,44E-05 kg  |
|       | Stickstoffverbind. als N (W)      | 5,44E-05 kg  |
|       | Sulfat (W)                        | 1,09E+00 kg  |
|       | Sulfid (W)                        | 1,59E-06 kg  |
|       | Verbindungen, organisch (W)       |              |
|       | halog. org. Verbindungen (W)      |              |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)      |              |
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)  |              |
|       | PCB (W)                           | 1,75E-10 kg  |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W) |              |
|       | KW (W)                            |              |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W)   | 1,65E-06 kg  |
|       | Öl (W)                            | 6,09E-11 kg  |
|       | PAK (W)                           |              |
|       | Benzo(a)pyren (W)                 | 1,07E-11 kg  |
|       | PAK ohne B(a)P (W)                | 9,64E-12 kg  |
|       | Phenole (W)                       | 2,01E-07 kg  |

| Input | Output                                   |                         |
|-------|------------------------------------------|-------------------------|
|       | Indikatorparameter                       |                         |
|       | AOX (W)                                  | 2,47E-07 kg             |
|       | BSB-5 (W)                                | 5,96E-05 kg             |
|       | CSB (W)                                  | 4,78E-04 kg             |
|       | TOC (W)                                  | 2,45E-03 kg             |
|       | Hilfsgrößen                              |                         |
|       | Feldarbeiten Grünbrache                  | 1,41E+00 E              |
|       | Import Materials                         |                         |
|       | Sondermüll (AzB)                         | 1,11E-02 kg             |
|       | Naturraum                                |                         |
|       | Deponievolumen                           | 7,66E-03 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert   | 7,50E-06 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert | 2,09E-06 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel.    | 1,14E-05 m <sup>3</sup> |
|       | Wasser                                   |                         |
|       | Abwasser                                 |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung)            | 1,05E+05 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                    | 1,51E+05 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                       | 1,96E+01 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                        | 1,75E+00 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                        | 2,73E+00 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus                     | 2,08E-01 kg             |
|       | Sickerwasser, gefaßt                     | 4,22E-02 kg             |
|       | Wasserdampf                              | 2,67E+05 kg             |

Tabelle 1-9: Szenario CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme)

| Input                                          |             | Output                               |                          |
|------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Abfälle                                        |             | Abfälle                              |                          |
| Abfälle zur Verwertung                         |             | Abfälle zur Beseitigung              |                          |
| Metalle                                        |             | Abfälle (Reaktordeponie)             | 3,80E-02 kg              |
| Schrott (Eisen)                                | 7,07E+00 kg | Abfälle aus chem. Industrie, inert   | 9,28E+00 kg              |
| Schrott (NE)                                   | 1,38E-03 kg | Abfälle aus Rauchgasreinigung        | 1,39E+00 kg              |
| Chemische Grundstoffe                          |             | Abfälle aus REA                      | 1,01E+01 kg              |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                      |             | Abfälle zur Verbrennung              | 3,45E-01 kg              |
| Ammoniak                                       | 2,56E-01 kg | Abfälle, eisenhaltig                 | 1,12E-15 kg              |
| Chlor                                          | 2,72E+00 kg | Abfälle, hausmüllähnlich             | 1,02E+01 kg              |
| Natriumhydroxid                                | 3,79E-01 kg | Abfälle, unspezifiziert              | 6,29E+01 kg              |
| Phosphate (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 7,97E-05 kg | Abraum                               | 8,56E+04 kg              |
| Salzsäure                                      | 7,13E-01 kg | Altöl                                | 4,63E-02 kg              |
| Sauerstoff                                     | 1,72E-02 kg | Aschen u. Schlacken                  | 3,42E+02 kg              |
| Schwefelsäure                                  | 1,21E-03 kg | Kältemittel                          | 2,83E-03 kg              |
| Stickstoff                                     | 1,42E+01 kg | Klärschlamm                          | 1,68E+00 kg              |
| Wasserstoff                                    | 5,62E+00 kg | Kunststoffe, unspez.                 | 6,96E-04 kg              |
| Chem. Grundstoffe, org.                        |             | Papier, Pappe                        | 1,69E-25 kg              |
| Formaldehyd                                    | 6,96E+00 kg | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 4,31E-07 m <sup>3</sup>  |
| Methanol in Xylidin                            | vertraulich | Sonderabfall                         | 5,94E-01 kg              |
| Schmieröl                                      | 1,44E-02 kg | Sondermüll                           | 5,04E-06 kg              |
| Toluol                                         | 1,47E-01 kg | Abfälle zur Verwertung               |                          |
| Emissionen (Luft)                              |             | Altöl                                | 9,17E+01 kg              |
| Verbindungen, anorg. (L)                       |             | Aschen u. Schlacken                  | 3,48E+01 kg              |
| Kohlendioxid (L)                               |             | Filterstaub                          | 1,41E+01 kg              |
| Kohlendioxid, regenerativ (L)                  | 1,12E-01 kg | Gips (REA)                           | 6,19E+01 kg              |
| Energieträger, sekundär                        |             | Grobasche                            | 2,11E+00 kg              |
| Brennstoffe, fest/flüssig                      |             | Metalle                              |                          |
| Biomasse (kg)                                  | 2,93E-03 kg | Metalle, unspez.                     | 4,20E-03 kg              |
| Schweröl                                       | 5,65E+01 kg | Natriumsulfat                        | 4,62E-01 kg              |
| Feinchemikalien                                |             | Organik                              |                          |
| Fällungsmittel                                 | 6,43E+01 kg | Klärschlamm, 20 % TS                 | 6,20E+02 kg              |
| Kumulierter Energieaufwand                     |             | Schmelzkammergranulat                | 1,77E+01 kg              |
| KEA (Kernenergie)                              | 6,89E+07 kJ | Wertstoffe, gemischt                 | 4,09E-02 kg              |
| KEA (Wasserkraft)                              | 5,20E+06 kJ | Wirbelschichtasche                   | 1,41E+00 kg              |
| KEA solar                                      | 1,17E+04 MJ | Abfälle, unspezifiziert              | 1,05E+01 kg              |
| KEA, fossil gesamt                             | 5,33E+08 kJ | Chemische Grundstoffe                |                          |
| KEA, regenerativ                               | 1,96E+05 kJ | Chem. Grundstoffe, anorg.            |                          |
| KEA, sonst. regenerative                       | 7,59E+05 kJ | Ammoniak, 13%                        | 2,80E+02 kg              |
| KEA, sonstige                                  | 9,80E+05 kJ | Schwefelsäure                        | 5,11E-01 kg              |
| KEA, unspez.                                   | 1,39E+06 kJ | Chem. Grundstoffe, org.              |                          |
| Landwirtschaftliche- und Naturpro-<br>dukte    |             | Methanol                             | 2,64E+01 kg              |
| Kartoffeln                                     |             | Emissionen (Luft)                    |                          |
| Bodenanhaftungen                               |             | Abgas (trocken Nomvol.)              | 3,82E+01 Nm <sup>3</sup> |
| Metalle                                        |             | Abgas (trocken Normvolumen) (L)      | 7,57E+03 Nm <sup>3</sup> |

| Input                           |                         | Output                        |             |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------|
| NE-Metalle                      |                         | Abwärme (L)                   | 4,87E+07 kJ |
| Chrom                           | 4,10E-09 kg             | Cyanid (L)                    | 3,58E-01 kg |
| Mineralien und Erze             |                         | Partikel (L)                  | 8,35E-01 kg |
| Branntkalk                      | 1,03E+01 kg             | Staub (>PM10) (L)             | 1,74E-01 kg |
| Kalkstein                       | 4,48E-02 kg             | Staub (L)                     | 3,78E+01 kg |
| Natriumchlorid                  | 3,21E+00 kg             | Staub (PM10) (L)              | 2,91E-01 kg |
| Schwefel                        | 1,07E-02 kg             | Staub (PM2,5) (L)             | 9,13E-02 kg |
| Naturraum                       |                         | Sulfat (L)                    | 1,02E-09 kg |
| Fläche K6 (BRD)                 | 8,77E+02 m <sup>2</sup> | Verbindungen, anorg. (L)      |             |
| Fläche K7 (BRD)                 | 1,59E-03 m <sup>2</sup> | Ammoniak (L)                  | 1,20E+00 kg |
| Fläche, unspezifiziert          | 7,27E-02 m <sup>2</sup> | Chlor (L)                     | 5,03E+00 kg |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL) |                         | Chlorwasserstoff (L)          | 1,84E+00 kg |
| Energieträger (RiL)             |                         | Cyanwasserstoff (L)           | 1,60E-31 kg |
| Erdgas (RiL)                    | 8,39E+03 kg             | Distickstoffmonoxid (L)       | 2,92E+00 kg |
| Erdöl (RiL)                     | 3,77E+03 kg             | Fluor (L)                     | 1,03E-06 kg |
| Holz (RiL)                      | 6,74E-03 kg             | Fluorwasserstoff (L)          | 4,82E-02 kg |
| Kohlen (RiL)                    |                         | Kohlendioxid (L)              |             |
| Braunkohle (RiL)                | 2,93E+03 kg             | Kohlendioxid, fossil (L)      | 3,23E+04 kg |
| Kohle, unspez. (RiL)            | 2,06E-01 kg             | Kohlendioxid, regenerativ (L) | 6,57E+01 kg |
| Steinkohle (RiL)                | 2,62E+03 kg             | Kohlendioxid, unspez. (L)     | 2,59E+01 kg |
| Uran (RiL)                      | 4,46E-02 kg             | Kohlenmonoxid (L)             | 4,23E+01 kg |
| Nichtenergieträger (RiL)        |                         | Metalle (L)                   |             |
| Erze, unspez. (RiL)             | 2,31E+01 kg             | Antimon (L)                   | 7,67E-06 kg |
| Mineralien und Erze (RiL)       |                         | Arsen (L)                     | 7,98E-05 kg |
| Baryt (RiL)                     | 2,38E-04 kg             | Beryllium (L)                 | 9,18E-06 kg |
| Bauxit (RiL)                    | 3,31E-01 kg             | Blei (L)                      | 1,62E-04 kg |
| Bentonit (RiL)                  | 1,63E-01 kg             | Cadmium (L)                   | 3,44E-05 kg |
| Calciumsulfat (RiL)             | 1,62E-02 kg             | Chrom (L)                     | 5,13E-05 kg |
| Chromerz (RiL)                  | 3,12E-11 kg             | Kobalt (L)                    | 6,65E-06 kg |
| Dolomit (RiL)                   | 6,69E-03 kg             | Kupfer (L)                    | 3,43E-05 kg |
| Eisenerz (RiL)                  | 1,44E-02 kg             | Mangan (L)                    | 3,33E-05 kg |
| Feldspat (RiL)                  | 5,76E-32 kg             | Metalle, unspez. (L)          | 1,52E-02 kg |
| Flußspat (RiL)                  | 1,91E-03 kg             | Nickel (L)                    | 1,27E-03 kg |
| Granit (RiL)                    | 1,40E-05 kg             | Quecksilber (L)               | 1,19E-04 kg |
| Kaliumchlorid (RiL)             | 4,53E-04 kg             | Selen (L)                     | 5,35E-04 kg |
| Kalkstein (RiL)                 | 2,82E+02 kg             | Thallium (L)                  | 1,42E-06 kg |
| Kies (RiL)                      | 2,01E-03 kg             | Uran (L)                      | 2,63E-05 kg |
| Kreide (RiL)                    | 3,32E-26 kg             | Vanadium (L)                  | 7,37E-06 kg |
| Manganerz (RiL)                 | 1,83E-05 kg             | Zink (L)                      | 2,50E-04 kg |
| Natriumchlorid (RiL)            | 5,50E+03 kg             | Zinn (L)                      | 2,58E-05 kg |
| Nickelerz (RiL)                 | 8,19E-08 kg             | NOx (L)                       | 1,15E+02 kg |
| Olivin (RiL)                    | 5,11E-03 kg             | Radionuklide (L)              |             |
| Rohkali (RiL)                   | 1,86E+02 kg             | Radionuklide, gesamt (L)      | 2,64E+09 Bq |
| Rohphosphat (RiL)               | 1,96E+01 kg             | Schwefel (L)                  | 3,98E-06 kg |
| Rutil (RiL)                     | 4,86E-26 kg             | Schwefeldioxid (L)            | 1,46E+02 kg |
| Sand (RiL)                      | 4,37E+00 kg             | Schwefelkohlenstoff (L)       | 1,25E-07 kg |
| Schiefer (RiL)                  | 4,59E-02 kg             | Schwefelsäure (L)             | 2,76E-10 kg |

| Input                                              |             | Output                             |             |
|----------------------------------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|
| Steinsalz (RiL)                                    | 1,15E+00 kg | Schwefelwasserstoff (L)            | 3,96E-04 kg |
| Ton (RiL)                                          | 9,70E-03 kg | Stickstoffdioxid (L)               | 1,59E+00 kg |
| Zinkerz (RiL)                                      | 1,06E-04 kg | Wasserstoff (L)                    | 4,73E-01 kg |
| Mineralien, un spez. (RiL)                         | 5,45E+01 kg | VOC (L)                            |             |
| Rohstoffe, elementar (RiL)                         |             | Kohlenwasserstoffe, un spez. (L)   | 2,07E-01 kg |
| Metalle (RiL)                                      |             | Methan (L)                         | 5,94E+01 kg |
| Aluminium (Al) (RiL)                               | 1,51E-02 kg | Methan, fossil (L)                 | 9,38E+00 kg |
| Blei (Pb) (RiL)                                    | 6,33E-05 kg | Methan, regenerativ (L)            | 7,80E-04 kg |
| Eisen (Fe) (RiL)                                   | 4,26E+00 kg | NM VOC (L)                         |             |
| Ferromangan (RiL)                                  | 4,82E-04 kg | NM VOC aus Dieselemis. (L)         | 9,90E-03 kg |
| Nickel (Ni) (RiL)                                  | 1,35E-09 kg | NM VOC, arom., un spez. (L)        | 3,85E-02 kg |
| Zink (Zn) (RiL)                                    | 2,38E-06 kg | NM VOC, halog. (L)                 |             |
| Schwefel (RiL)                                     | 4,87E+02 kg | NM VOC, chlor. (L)                 |             |
| Stoffe, diverse                                    |             | NM VOC, chlor, aliph. (L)          |             |
| verschiedene Stoffe für die Vitamin B2-Herstellung | 5,77E+01 kg | Dichlorethan (L)                   | 1,09E-10 kg |
| Alpha-Amylase                                      | 1,69E+00 kg | Dichlorethen (L)                   | 2,87E-11 kg |
| Ammoniumphosphat                                   | 1,07E+01 kg | Vinylchlorid (L)                   | 9,17E-11 kg |
| Anhydrit (RiL)                                     | 1,15E-06 kg | NM VOC, chlor, arom. (L)           |             |
| Calciumchlorid                                     | 8,62E-02 kg | Chlorbenzole (L)                   | 2,45E-04 kg |
| Kaliumphosphat                                     | 2,68E+00 kg | Chlorphenole (L)                   | 9,07E-13 kg |
| L-Phenylalanine                                    | 1,66E-02 kg | PCB (L)                            | 4,54E-15 kg |
| L-Tryptophan                                       | 1,66E-02 kg | PCDD, PCDF (L)                     | 3,18E-08 kg |
| Magnesiumsulfat                                    | 5,75E-02 kg | NM VOC, chlor., un spez. (L)       | 1,58E-05 kg |
| Natriumbisulfit                                    | 1,75E-01 kg | NM VOC, fluor. (L)                 |             |
| Natriumkarbonat                                    | 8,68E-02 kg | NM VOC, fluor., un spez. (L)       | 5,04E-04 kg |
| Betriebsstoffe                                     |             | Perfluorethan (L)                  | 7,72E-07 kg |
| Aktivkornkohle                                     | 6,25E+00 kg | Perfluormethan (L)                 | 4,94E-06 kg |
| Kühlöl                                             | 3,24E-02 kg | NM VOC, nichthalog. (L)            |             |
| Luft                                               | 3,93E+01 kg | Akohole (L)                        |             |
| Magnesiumsulfat                                    | 5,75E-02 kg | Methanol (L)                       | 3,12E+00 kg |
| Natriumbisulfit                                    | 1,75E-01 kg | Aldehyde (L)                       |             |
| Natriumkarbonat                                    | 8,68E-02 kg | Aldehyde, un spez. (L)             | 3,45E-06 kg |
| Phosphor (RiL)                                     | 3,35E-01 kg | Formaldehyd (L)                    | 1,21E-01 kg |
| Sylvit (RiL)                                       | 1,52E-02 kg | Alkane (L)                         |             |
| Torf (RiL)                                         | 2,44E-03 kg | Hexan (L)                          | 7,19E-04 kg |
| Sekundärrohstoffe                                  | 3,60E-03 kg | andere O-haltige Verb. (L)         |             |
| Wasser                                             |             | 1,4-Dioxan (L)                     | 1,11E-04 kg |
| Brauch-/Trinkwasser                                |             | andere S (und O)-haltige Verb. (L) |             |
| Kühlwasser                                         | 1,52E+06 kg | Mercaptane (L)                     | 3,53E-05 kg |
| Wasser (Kesselspeise)                              | 3,60E+05 kg | Aromatische Verbindungen (L)       |             |
| Wasser (Prozess)                                   | 9,47E+04 kg | aromatische KW (L)                 |             |
| Wasser, entionisiert                               | 5,60E+04 kg | Benzol (L)                         | 5,24E-01 kg |
| Wasser, entkalkt                                   | 2,89E+03 kg | Ether/Säuren (L)                   |             |
| Wasser, entkarbonisiert                            | 1,91E+02 kg | Essigsäure (L)                     | 6,92E+00 kg |
| Wasser, un spez.                                   | 2,99E+06 kg | PAK (L)                            |             |
| Rohwasser                                          |             | Benzo(a)anthrazen (L)              | 6,93E-09 kg |

| Input       |             | Output                        |             |
|-------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Grundwasser | 4,04E-02 kg | Benzo(a)pyren (L)             | 3,66E-06 kg |
|             |             | PAK ohne B(a)P (L)            | 4,38E-05 kg |
|             |             | PAK, unspez. (L)              | 3,98E-10 kg |
|             |             | NMVOC, unspez. (L)            | 7,47E+00 kg |
|             |             | Stoffe, org., unspez. (L)     | 3,85E-04 kg |
|             |             | VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)  | 4,24E+01 kg |
|             |             | VOC, unspez. (L)              | 1,83E+00 kg |
|             |             | Emissionen (Wasser)           |             |
|             |             | Dichlorethan (W)              | 2,20E-13 kg |
|             |             | Emissionen (W)                |             |
|             |             | Abwärme (W)                   | 8,25E+06 kJ |
|             |             | Feststoffe, gelöst (W)        | 4,75E-01 kg |
|             |             | Feststoffe, suspendiert (W)   | 1,02E+01 kg |
|             |             | Feststoffe, ungelöst (W)      | 2,04E-01 kg |
|             |             | Salz, unspez. (W)             | 5,00E+00 kg |
|             |             | Verbindungen, anorganisch (W) |             |
|             |             | Bor (W)                       | 4,96E-07 kg |
|             |             | Carbonat (W)                  | 1,42E-01 kg |
|             |             | Chlor (W)                     | 5,36E-03 kg |
|             |             | Chlor, gelöst (W)             | 5,80E-07 kg |
|             |             | Chlorid (W)                   | 2,39E+02 kg |
|             |             | Cyanid (W)                    | 6,09E-01 kg |
|             |             | Fluor (W)                     | 8,16E-04 kg |
|             |             | Fluorid (W)                   | 8,09E-04 kg |
|             |             | Metalle (W)                   |             |
|             |             | Aluminium (W)                 | 4,22E-03 kg |
|             |             | Antimon (W)                   | 6,13E-09 kg |
|             |             | Arsen (W)                     | 1,72E-05 kg |
|             |             | Barium (W)                    | 8,13E-05 kg |
|             |             | Beryllium (W)                 | 1,07E-06 kg |
|             |             | Blei (W)                      | 2,58E-03 kg |
|             |             | Cadmium (W)                   | 1,30E-05 kg |
|             |             | Calcium (W)                   | 5,03E+00 kg |
|             |             | Chrom (VI) (W)                | 1,94E-11 kg |
|             |             | Chrom (W)                     | 7,46E-05 kg |
|             |             | Chrom-(VI)-oxid (W) (W)       | 4,93E-09 kg |
|             |             | Cobalt (W)                    | 2,58E-07 kg |
|             |             | Eisen (W)                     | 2,05E-04 kg |
|             |             | Kalium (W)                    | 4,74E-04 kg |
|             |             | Kupfer (W)                    | 1,76E-04 kg |
|             |             | Magnesium (W)                 | 5,92E-05 kg |
|             |             | Mangan (W)                    | 3,58E-03 kg |
|             |             | Metalle, unspez. (W)          | 9,02E-01 kg |
|             |             | Molybdän (W)                  | 4,45E-04 kg |
|             |             | Natrium (W)                   | 2,90E+01 kg |
|             |             | Nickel (W)                    | 1,68E-04 kg |
|             |             | Quecksilber (W)               | 7,59E-07 kg |

| Input | Output                                                         |
|-------|----------------------------------------------------------------|
|       | Selen (W) 1,33E-04 kg                                          |
|       | Uran (W) 5,90E-04 kg                                           |
|       | Vanadium (W) 3,43E-04 kg                                       |
|       | Zink (W) 1,09E-04 kg                                           |
|       | Zinn (W) 2,61E-07 kg                                           |
|       | Phosphate (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (W) 4,36E-04 kg |
|       | Phosphorverbind. als P (W) 6,81E-01 kg                         |
|       | Radionuklide (W)                                               |
|       | Radionuklide, gesamt (W) 1,57E+07 kBq                          |
|       | Salze, anorg. (W) 1,09E-04 kg                                  |
|       | Säuren als H(+) (W) 2,07E+00 kg                                |
|       | Säuren, unspez. (W) 1,51E-02 kg                                |
|       | Schwefel (W) 2,49E-04 kg                                       |
|       | Stickstoffverbindungen (W)                                     |
|       | Ammoniak (W) 1,79E-03 kg                                       |
|       | Ammonium (W) 1,48E+00 kg                                       |
|       | Nitrat (W) 7,08E+00 kg                                         |
|       | Salpetersäure (W) 8,35E-05 kg                                  |
|       | Stickstoffverb., unspez. (W) 1,45E-02 kg                       |
|       | Stickstoffverbind. als N (W) 3,36E-01 kg                       |
|       | Sulfat (W) 3,85E+01 kg                                         |
|       | Sulfid (W) 1,37E-05 kg                                         |
|       | Verbindungen, organisch (W)                                    |
|       | Detergenzien, Öl (W) 3,55E-02 kg                               |
|       | halog. org. Verbindungen (W)                                   |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)                                   |
|       | chlor. Verbindungen, aliphatic (W)                             |
|       | Dichlorethen (W) 5,65E-14 kg                                   |
|       | Vinylchlorid (W) 6,33E-29 kg                                   |
|       | chlor. Verbindungen, aromatisch (W)                            |
|       | PCB (W) 6,00E-10 kg                                            |
|       | Verbindungen, org., chlor., unspez. (W) 2,99E-08 kg            |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)                              |
|       | KW (W)                                                         |
|       | Benzol (W) 1,97E+00 kg                                         |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W) 6,02E-02 kg                    |
|       | Öl (W) 3,52E-03 kg                                             |
|       | PAK (W)                                                        |
|       | Benzo(a)pyren (W) 3,68E-11 kg                                  |
|       | PAK ohne B(a)P (W) 3,30E-11 kg                                 |
|       | Phenole (W) 2,73E-03 kg                                        |
|       | Verbindungen, org., gelöst (W) 1,67E-02 kg                     |
|       | Verbindungen, org., unspez. (W) 5,93E-04 kg                    |
|       | Indikatorparameter                                             |
|       | AOX (W) 7,75E-03 kg                                            |
|       | BSB-5 (W) 1,40E+00 kg                                          |
|       | CSB (W) 1,10E+02 kg                                            |

| Input | Output                                                           |
|-------|------------------------------------------------------------------|
|       | DOC (W) 3,93E-01 kg                                              |
|       | TOC (W) 4,01E-01 kg                                              |
|       | Lösemittel, chloriert (W) 2,13E-06 kg                            |
|       | Sickerwasser, diffus (W) 1,01E-01 kg                             |
|       | Feinchemikalien                                                  |
|       | Dünger                                                           |
|       | Kalkdünger (als CaO) 6,46E-01 kg                                 |
|       | K-Dünger (als K <sub>2</sub> O) 3,60E+00 kg                      |
|       | N-Dünger (als N) 1,59E+00 kg                                     |
|       | P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) 6,11E-01 kg        |
|       | Import Materials                                                 |
|       | Staub (PM 10) (L) 1,36E-04 kg                                    |
|       | Landwirtschaftliche- und Naturprodukte                           |
|       | Kartoffeln                                                       |
|       | Schlamm 3,12E+02 kg                                              |
|       | Mineralien                                                       |
|       | Gips (REA) 1,97E-03 kg                                           |
|       | Naturraum                                                        |
|       | Deponievolumen 5,80E-02 m <sup>3</sup>                           |
|       | Landwirtschaftliche Fläche 8,77E+02 m <sup>2</sup>               |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert 2,57E-05 m <sup>3</sup>   |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert 7,16E-06 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel. 3,89E-05 m <sup>3</sup>    |
|       | Stoffe, diverse                                                  |
|       | B2>98% 1,67E+02 kg                                               |
|       | B2-96% 1,00E+03 kg                                               |
|       | Nickelkatalysator 2,35E+00 kg                                    |
|       | Verunreinigungen 8,83E-01 kg                                     |
|       | Energiegutschrift, Methanol 1,23E+07 kg                          |
|       | Wasser                                                           |
|       | Abwasser                                                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung) 3,60E+05 kg                        |
|       | Abwasser (Kühlwasser) 6,08E+05 kg                                |
|       | Abwasser (Prozess) 2,49E+03 kg                                   |
|       | Abwasser, geklärt 2,39E+05 kg                                    |
|       | Abwasser, unspez. 5,99E+02 kg                                    |
|       | Kondensat 3,03E+01 kg                                            |
|       | Sickerwasser, diffus 7,11E-01 kg                                 |
|       | Sickerwasser, gefaßt 1,45E-01 kg                                 |
|       | Wasserdampf 9,12E+05 kg                                          |
|       | Wasserdampf 9,79E+05 kg                                          |

Tabelle 1-10: Szenario CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme)

| Input                                         |                         | Output                               |                         |
|-----------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Abfälle                                       |                         | Abfälle                              |                         |
| Abfälle zur Verwertung                        |                         | Abfälle zur Beseitigung              |                         |
| Metalle                                       |                         | Abfälle aus REA                      | 2,17E-01 kg             |
| Schrott (Eisen)                               | 1,03E-01 kg             | Abfälle, hausmüllähnlich             | 1,37E-10 kg             |
| Schrott (NE)                                  | 4,24E-05 kg             | Abfälle, unspezifiziert              | 1,30E-04 kg             |
| Chemische Grundstoffe                         |                         | Abraum                               | 2,26E+02 kg             |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                     |                         | Aschen u. Schlacken                  | 1,04E-04 kg             |
| Ammoniak, 13%                                 | 2,80E+02 kg             | Klärschlamm                          | 3,25E-04 kg             |
| Chem. Grundstoffe, org.                       |                         | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 2,36E-05 m <sup>3</sup> |
| Methanol                                      | 2,64E+01 kg             | Sonderabfall                         | 2,01E-07 kg             |
| Energieträger, primär                         |                         | Sondermüll                           | 9,39E-11 kg             |
| Energieträger, fossil                         |                         | Abfälle zur Verwertung               |                         |
| Erdöl                                         | 2,89E+00 kg             | Altöl                                | 3,47E+00 kg             |
| Kohle                                         |                         | Aschen u. Schlacken                  | 1,45E-07 kg             |
| Braunkohle                                    | 4,47E-02 kg             | Filterstaub                          | 1,60E-04 kg             |
| Steinkohle                                    | 2,02E-02 kg             | Gips (REA)                           | 5,82E-04 kg             |
| Energieträger, sekundär                       |                         | Grobasche                            | 2,39E-05 kg             |
| Brennstoffe, fest/flüssig                     |                         | Natriumsulfat                        | 5,25E-06 kg             |
| Biomasse (kg)                                 | 4,45E-05 kg             | Organik                              |                         |
| Brennstoffe, gasförmig                        |                         | Klärschlamm, 20 % TS                 | 3,06E-05 kg             |
| Erdgas                                        | 6,05E-02 kg             | Schmelzkammergranulat                | 2,00E-04 kg             |
| Feinchemikalien                               |                         | Wirbelschichtasche                   | 1,60E-05 kg             |
| Dünger                                        |                         | Abfälle, unspezifiziert              | 1,19E+00 kg             |
| Kalkdünger (als CaO)                          | 6,46E-01 kg             | Emissionen (Luft)                    |                         |
| K-Dünger (als K <sub>2</sub> O)               | 3,60E+00 kg             | Abwärme (L)                          | 4,24E+02 kJ             |
| N-Dünger (als N)                              | 1,59E+00 kg             | Partikel (L)                         | 1,28E-02 kg             |
| P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 6,11E-01 kg             | Staub (>PM <sub>10</sub> ) (L)       | 2,45E-04 kg             |
| Kumulierter Energieaufwand                    |                         | Staub (L)                            | 3,69E-02 kg             |
| KEA (Kernenergie)                             | 3,15E+05 kJ             | Staub (PM <sub>10</sub> ) (L)        | 3,86E-04 kg             |
| KEA (Wasserkraft)                             | 4,37E+03 kJ             | Verbindungen, anorg. (L)             |                         |
| KEA, fossil gesamt                            | 2,05E+07 kJ             | Ammoniak (L)                         | 4,43E-02 kg             |
| KEA, regenerativ                              | 2,98E+04 kJ             | Chlorwasserstoff (L)                 | 3,49E-03 kg             |
| KEA, sonst. regenerative                      | 8,61E+00 kJ             | Distickstoffmonoxid (L)              | 4,79E-02 kg             |
| KEA, sonstige                                 | 8,24E+04 kJ             | Fluor (L)                            | 6,44E-12 kg             |
| KEA, unspez.                                  | 4,75E-04 kJ             | Fluorwasserstoff (L)                 | 2,08E-04 kg             |
| Naturraum                                     |                         | Kohlendioxid (L)                     |                         |
| Fläche K5 (BRD)                               | 8,78E+01 m <sup>2</sup> | Kohlendioxid, fossil (L)             | 1,04E+03 kg             |
| Fläche K7 (BRD)                               | 4,43E-05 m <sup>2</sup> | Kohlendioxid, regenerativ (L)        | 2,52E-06 kg             |
| Landwirtschaftliche Fläche                    | 8,77E+02 m <sup>2</sup> | Kohlenmonoxid (L)                    | 6,27E-01 kg             |
| Fläche, unspezifiziert                        | 1,85E-03 m <sup>2</sup> | Metalle (L)                          |                         |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL)               |                         | Antimon (L)                          | 8,71E-11 kg             |
| Energieträger (RiL)                           |                         | Arsen (L)                            | 2,12E-07 kg             |
| Erdgas (RiL)                                  | 4,83E+02 kg             | Beryllium (L)                        | 1,04E-10 kg             |
| Erdöl (RiL)                                   | 1,29E+01 kg             | Blei (L)                             | 1,04E-06 kg             |

| Input                       |             | Output                          |             |
|-----------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| Kohlen (RiL)                |             | Cadmium (L)                     | 2,67E-07 kg |
| Braunkohle (RiL)            | 2,92E+01 kg | Chrom (L)                       | 3,56E-07 kg |
| Kohle, un spez. (RiL)       | 3,32E-08 kg | Kobalt (L)                      | 7,55E-11 kg |
| Steinkohle (RiL)            | 1,01E+01 kg | Kupfer (L)                      | 3,90E-10 kg |
| Uran (RiL)                  | 4,92E-07 kg | Mangan (L)                      | 3,78E-10 kg |
| Nichtenergieträger (RiL)    |             | Metalle, un spez. (L)           | 2,75E-13 kg |
| Erze, un spez. (RiL)        | 3,38E-01 kg | Nickel (L)                      | 7,98E-06 kg |
| Mineralien und Erze (RiL)   |             | Quecksilber (L)                 | 1,74E-07 kg |
| Kalkstein (RiL)             | 2,20E+00 kg | Selen (L)                       | 6,07E-09 kg |
| Natriumchlorid (RiL)        | 5,48E-06 kg | Thallium (L)                    | 1,61E-11 kg |
| Rohkali (RiL)               | 3,78E+01 kg | Uran (L)                        | 2,99E-10 kg |
| Rohphosphat (RiL)           | 2,48E+00 kg | Vanadium (L)                    | 8,36E-11 kg |
| Sand (RiL)                  | 1,87E-05 kg | Zink (L)                        | 2,84E-09 kg |
| Mineralien, un spez. (RiL)  | 9,09E-01 kg | Zinn (L)                        | 2,93E-10 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL)  |             | NOx (L)                         | 1,67E+00 kg |
| Schwefel (RiL)              | 1,66E-01 kg | Radionuklide (L)                |             |
| Stoffe, diverse             |             | Radionuklide, gesamt (L)        | 3,00E+04 Bq |
| Luft                        | 1,80E-02 kg | Schwefel (L)                    | 4,51E-11 kg |
| Nickelkatalysator           | 2,35E+00 kg | Schwefeldioxid (L)              | 2,61E-01 kg |
| Energiegutschrift, Methanol | 1,23E+07 kJ | Schwefelwasserstoff (L)         | 3,49E-05 kg |
| Sekundärrohstoffe           | 1,10E-04 kg | Stickstoffdioxid (L)            | 6,53E-04 kg |
| Wasser                      |             | VOC (L)                         |             |
| Brauch-/Trinkwasser         |             | Methan (L)                      | 4,80E+00 kg |
| Kühlwasser                  | 3,46E+02 kg | NM VOC (L)                      |             |
| Wasser (Kesselspeise)       | 4,09E+00 kg | NM VOC (Kohlenwasserstoffe) (L) | 8,18E-06 kg |
| Wasser (Prozess)            | 7,10E-03 kg | NM VOC, halog. (L)              |             |
| Wasser, un spez.            | 3,05E+02 kg | NM VOC, chlor. (L)              |             |
|                             |             | NM VOC, chlor, aromat. (L)      |             |
|                             |             | Chlorbenzole (L)                | 5,15E-18 kg |
|                             |             | Chlorphenole (L)                | 1,03E-17 kg |
|                             |             | PCB (L)                         | 5,15E-20 kg |
|                             |             | PCDD, PCDF (L)                  | 5,54E-09 kg |
|                             |             | NM VOC, fluor. (L)              |             |
|                             |             | Perfluorethan (L)               | 1,78E-08 kg |
|                             |             | Perfluormethan (L)              | 1,42E-07 kg |
|                             |             | NM VOC, nichthalog. (L)         |             |
|                             |             | Aldehyde (L)                    |             |
|                             |             | Formaldehyd (L)                 | 2,69E-03 kg |
|                             |             | Alkane (L)                      |             |
|                             |             | Hexan (L)                       | 8,16E-09 kg |
|                             |             | Aromatische Verbindungen (L)    |             |
|                             |             | aromatische KW (L)              |             |
|                             |             | Benzol (L)                      | 7,43E-04 kg |
|                             |             | PAK (L)                         |             |
|                             |             | Benzo(a)pyren (L)               | 2,45E-07 kg |
|                             |             | PAK ohne B(a)P (L)              | 4,81E-10 kg |
|                             |             | NM VOC, un spez. (L)            | 2,01E-01 kg |

| Input | Output                        |              |
|-------|-------------------------------|--------------|
|       | VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)  | 8,24E-10 kg  |
|       | Emissionen (Wasser)           |              |
|       | Emissionen (W)                |              |
|       | Abwärme (W)                   | 9,36E+01 kJ  |
|       | Feststoffe, gelöst (W)        | 6,86E-12 kg  |
|       | Feststoffe, suspendiert (W)   | 2,75E-10 kg  |
|       | Verbindungen, anorganisch (W) |              |
|       | Bor (W)                       | 5,63E-12 kg  |
|       | Chlor (W)                     | 6,07E-08 kg  |
|       | Chlorid (W)                   | 3,67E-05 kg  |
|       | Cyanid (W)                    | 5,30E-12 kg  |
|       | Fluor (W)                     | 5,64E-10 kg  |
|       | Fluorid (W)                   | 9,16E-09 kg  |
|       | Metalle (W)                   |              |
|       | Aluminium (W)                 | 1,56E-09 kg  |
|       | Antimon (W)                   | 6,96E-14 kg  |
|       | Arsen (W)                     | 3,45E-10 kg  |
|       | Barium (W)                    | 9,22E-10 kg  |
|       | Beryllium (W)                 | 1,21E-11 kg  |
|       | Blei (W)                      | 2,31E-08 kg  |
|       | Cadmium (W)                   | 1,35E-10 kg  |
|       | Calcium (W)                   | 1,10E-05 kg  |
|       | Chrom (W)                     | 1,21E-09 kg  |
|       | Cobalt (W)                    | 2,92E-12 kg  |
|       | Kupfer (W)                    | 1,73E-09 kg  |
|       | Mangan (W)                    | 4,06E-08 kg  |
|       | Metalle, unspez. (W)          | 1,24E-11 kg  |
|       | Molybdän (W)                  | 5,05E-09 kg  |
|       | Natrium (W)                   | 3,84E-10 kg  |
|       | Nickel (W)                    | 2,01E-09 kg  |
|       | Quecksilber (W)               | 1,84E-10 kg  |
|       | Selen (W)                     | 1,51E-09 kg  |
|       | Uran (W)                      | 6,69E-09 kg  |
|       | Vanadium (W)                  | 3,90E-09 kg  |
|       | Zink (W)                      | 6,04E-09 kg  |
|       | Zinn (W)                      | 2,96E-12 kg  |
|       | Phosphorverbind. als P (W)    | 1,28E-10 kg  |
|       | Radionuklide (W)              |              |
|       | Radionuklide, gesamt (W)      | 1,79E+02 kBq |
|       | Salze, anorg. (W)             | 2,40E-06 kg  |
|       | Säuren als H(+) (W)           | 4,67E-11 kg  |
|       | Stickstoffverbindungen (W)    |              |
|       | Ammoniak (W)                  | 7,81E-10 kg  |
|       | Ammonium (W)                  | 4,16E-07 kg  |
|       | Nitrat (W)                    | 1,03E-07 kg  |
|       | Salpetersäure (W)             | 9,48E-10 kg  |
|       | Stickstoffverbind. als N (W)  | 1,36E-06 kg  |

| Input | Output                                   |                         |
|-------|------------------------------------------|-------------------------|
|       | Sulfat (W)                               | 4,22E-05 kg             |
|       | Sulfid (W)                               | 6,17E-11 kg             |
|       | Verbindungen, organisch (W)              |                         |
|       | halog. org. Verbindungen (W)             |                         |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)             |                         |
|       | chlor. Verbindungen, arom. (W)           |                         |
|       | PCB (W)                                  | 6,81E-15 kg             |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)        |                         |
|       | KW (W)                                   |                         |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W)          | 6,40E-11 kg             |
|       | Öl (W)                                   | 2,37E-15 kg             |
|       | PAK (W)                                  |                         |
|       | Benzo(a)pyren (W)                        | 4,17E-16 kg             |
|       | PAK ohne B(a)P (W)                       | 3,75E-16 kg             |
|       | Phenole (W)                              | 7,79E-12 kg             |
|       | Indikatorparameter                       |                         |
|       | AOX (W)                                  | 8,78E-09 kg             |
|       | BSB-5 (W)                                | 2,67E-04 kg             |
|       | CSB (W)                                  | 9,45E-03 kg             |
|       | TOC (W)                                  | 9,52E-08 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus (W)                 | 2,81E-03 kg             |
|       | Hilfsgrößen                              |                         |
|       | Feldarbeiten Grünbrache                  | 8,77E-02 E              |
|       | Mineralien                               |                         |
|       | Gips (REA)                               | 4,07E-08 kg             |
|       | Naturraum                                |                         |
|       | Deponievolumen                           | 8,87E-04 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert   | 2,91E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert | 8,12E-11 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel.    | 4,42E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Stoffe, diverse                          |                         |
|       | Nickelkatalysator                        | 2,35E+00 kg             |
|       | Wasser                                   |                         |
|       | Abwasser                                 |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung)            | 4,09E+00 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                    | 3,36E+02 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                       | 7,61E-04 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                        | 2,23E+01 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                        | 2,23E+01 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus                     | 8,07E-06 kg             |
|       | Sickerwasser, gefaßt                     | 1,64E-06 kg             |
|       | Wasserdampf                              | 1,04E+01 kg             |

### 1.1.5 Daten zur Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung)

Tabelle 1-11: Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung) für beide Szenarien

|                                    | Einheit                             | BIOTECHNISCHER PROZESS |            |           | CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS |            |          |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------|-----------|------------------------------|------------|----------|
|                                    |                                     | Brutto                 | Gutschrift | Netto     | Brutto                       | Gutschrift | Netto    |
| KEA                                |                                     |                        |            |           |                              |            |          |
|                                    | Klassifizierung = Charakterisierung |                        |            |           |                              |            |          |
| KEA fossil                         | kJ                                  | 3,28E+08               | -2,98E+07  | 2,98E+08  | 5,33E+08                     | -2,05E+07  | 5,13E+08 |
| KEA Kernkraft                      | kJ                                  | 9,54E+07               | -7,55E+06  | 8,79E+07  | 6,89E+07                     | -3,15E+05  | 6,86E+07 |
| KEA sonstige                       | kJ                                  | 5,99E+05               | -2,47E+04  | 5,74E+05  | 2,37E+06                     | -8,24E+04  | 2,29E+06 |
| KEA Wasserkraft                    | kJ                                  | 2,30E+06               | -2,41E+04  | 2,27E+06  | 5,20E+06                     | -4,37E+03  | 5,20E+06 |
| KEA regenerativ                    | kJ                                  | 2,34E+06               | -2,36E+05  | 2,10E+06  | 9,55E+05                     | -2,98E+04  | 9,26E+05 |
| Summe KEA                          | kJ                                  | 4,28E+08               | -3,76E+07  | 3,91E+08  | 6,11E+08                     | -2,09E+07  | 5,90E+08 |
| Treibhauseffekt                    |                                     |                        |            |           |                              |            |          |
|                                    | Klassifizierung                     |                        |            |           |                              |            |          |
| Perfluorethan (L)                  | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| Perfluormethan (L)                 | kg                                  | 5,25E-09               | -9,30E-08  | -8,77E-08 | 4,94E-06                     | -1,42E-07  | 4,80E-06 |
| Methan (L)                         | kg                                  | 4,26E+01               | -5,83E+00  | 3,68E+01  | 6,88E+01                     | -4,80E+00  | 6,40E+01 |
| Kohlendioxid fossil u. unspez. (L) | kg                                  | 2,48E+04               | -2,39E+03  | 2,24E+04  | 3,24E+04                     | -1,04E+03  | 3,13E+04 |
| Halon 1301 (L)                     | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| Distickstoffmonoxid (L)            | kg                                  | 6,56E+00               | -5,98E-01  | 5,96E+00  | 2,92E+00                     | -4,79E-02  | 2,87E+00 |
| R11 (L)                            | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R113 (L)                           | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R114 (L)                           | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R115 (L)                           | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R12 (L)                            | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R123 (L)                           | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R141 (L)                           | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R142 (L)                           | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R 22 (L)                           | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R 134a (L)                         | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R 404A (L)                         | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R 407C (L)                         | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R 410A (L)                         | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| R 417a (Isceon 59) (L)             | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| Tetrachlorkohlenstoff (L)          | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| Trichlorethan (L)                  | kg                                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
|                                    | Charakterisierung                   |                        |            |           |                              |            |          |
| Perfluorethan                      | kg CO <sub>2</sub>                  | -                      | -          | -         | -                            | -          | -        |
| Perfluormethan                     | kg CO <sub>2</sub>                  | 3,31E-05               | -5,86E-04  | -5,53E-04 | 3,11E-02                     | -8,95E-04  | 3,02E-02 |
| Methan                             | kg CO <sub>2</sub>                  | 8,94E+02               | -1,22E+02  | 7,72E+02  | 1,44E+03                     | -1,01E+02  | 1,34E+03 |
| Kohlendioxid fossil u. unspez.     | kg CO <sub>2</sub>                  | 2,48E+04               | -2,39E+03  | 2,24E+04  | 3,24E+04                     | -1,04E+03  | 3,13E+04 |

|                                           | Einheit            | BIOTECHNISCHER PROZESS |            |          | CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS |            |          |
|-------------------------------------------|--------------------|------------------------|------------|----------|------------------------------|------------|----------|
|                                           |                    | Brutto                 | Gutschrift | Netto    | Brutto                       | Gutschrift | Netto    |
| Halon 1301                                | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| Distickstoffmonoxid                       | kg CO <sub>2</sub> | 2,03E+03               | -1,86E+02  | 1,85E+03 | 9,05E+02                     | -1,49E+01  | 8,90E+02 |
| R 11                                      | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 113                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 114                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 115                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 12                                      | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 123                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 141                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 142                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 22                                      | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 134a                                    | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 404A                                    | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 407C                                    | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 410A                                    | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| R 417a (Isceon 59)                        | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| Tetrachlorkohlenstoff                     | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| Trichlorethan                             | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| Treibhauspotential (GWP 100)              | kg CO <sub>2</sub> | 2,77E+04               | -2,70E+03  | 2,50E+04 | 3,47E+04                     | -1,16E+03  | 3,35E+04 |
| <b>Versauerung</b>                        |                    |                        |            |          |                              |            |          |
|                                           |                    | Klassifizierung        |            |          |                              |            |          |
| Chlorwasserstoff (L)                      | kg                 | 9,12E-01               | -2,22E-01  | 6,90E-01 | 1,84E+00                     | -3,49E-03  | 1,83E+00 |
| Fluorwasserstoff (L)                      | kg                 | 6,69E-02               | -1,42E-02  | 5,26E-02 | 4,82E-02                     | -2,08E-04  | 4,80E-02 |
| Schwefeloxide (als SO <sub>2</sub> ) (L)  | kg                 | 5,64E+01               | -3,21E+00  | 5,32E+01 | 1,46E+02                     | -2,61E-01  | 1,46E+02 |
| Schwefelwasserstoff (L)                   | kg                 | 7,25E-05               | -1,17E-05  | 6,08E-05 | 3,96E-04                     | -3,49E-05  | 3,62E-04 |
| Stickoxide (NOx als NO <sub>2</sub> ) (L) | kg                 | 7,08E+01               | -5,47E+00  | 6,53E+01 | 1,15E+02                     | -1,67E+00  | 1,14E+02 |
| TRS (L)                                   | kg                 | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| Ammoniak (L)                              | kg                 | 8,61E+00               | -1,91E-01  | 8,42E+00 | 1,20E+00                     | -4,43E-02  | 1,15E+00 |
|                                           |                    | Charakterisierung      |            |          |                              |            |          |
| Chlorwasserstoff                          | kg SO <sub>2</sub> | 8,02E-01               | -1,95E-01  | 6,07E-01 | 1,62E+00                     | -3,07E-03  | 1,61E+00 |
| Fluorwasserstoff                          | kg SO <sub>2</sub> | 1,07E-01               | -2,28E-02  | 8,42E-02 | 7,72E-02                     | -3,33E-04  | 7,68E-02 |
| Schwefeloxide (als SO <sub>2</sub> )      | kg SO <sub>2</sub> | 5,64E+01               | -3,21E+00  | 5,32E+01 | 1,46E+02                     | -2,61E-01  | 1,46E+02 |
| Schwefelwasserstoff                       | kg SO <sub>2</sub> | 1,36E-04               | -2,21E-05  | 1,14E-04 | 7,45E-04                     | -6,56E-05  | 6,80E-04 |
| Stickoxide (als NO <sub>2</sub> )         | kg SO <sub>2</sub> | 4,95E+01               | -3,83E+00  | 4,57E+01 | 8,08E+01                     | -1,17E+00  | 7,96E+01 |
| TRS                                       | kg SO <sub>2</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| Ammoniak                                  | kg SO <sub>2</sub> | 1,62E+01               | -3,60E-01  | 1,58E+01 | 2,25E+00                     | -8,33E-02  | 2,16E+00 |
| Versauerungspotential                     | kg SO <sub>2</sub> | 1,23E+02               | -7,62E+00  | 1,15E+02 | 2,31E+02                     | -1,52E+00  | 2,29E+02 |
| <b>Eutrophierung</b>                      |                    |                        |            |          |                              |            |          |
|                                           |                    | Klassifizierung        |            |          |                              |            |          |
| Ammoniak (L)                              | kg                 | 8,61E+00               | -1,91E-01  | 8,42E+00 | 1,20E+00                     | -4,43E-02  | 1,15E+00 |
| Stickoxide (NOx als NO <sub>2</sub> ) (L) | kg                 | 7,08E+01               | -5,47E+00  | 6,53E+01 | 1,15E+02                     | -1,67E+00  | 1,14E+02 |
| CSB (W)                                   | kg                 | 7,07E+01               | -4,78E-04  | 7,07E+01 | 1,10E+02                     | -9,45E-03  | 1,10E+02 |
| Nitrit (W)                                | kg                 | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| Nitrat (W)                                | kg                 | 2,00E+01               | -2,90E-04  | 2,00E+01 | 7,08E+00                     | -1,03E-07  | 7,08E+00 |

|                                                   | Einheit            | BIOTECHNISCHER PROZESS |            |          | CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS |            |           |
|---------------------------------------------------|--------------------|------------------------|------------|----------|------------------------------|------------|-----------|
|                                                   |                    | Brutto                 | Gutschrift | Netto    | Brutto                       | Gutschrift | Netto     |
| Ammonium (W)                                      | kg                 | 8,16E+00               | -2,01E-03  | 8,16E+00 | 1,48E+00                     | -4,16E-07  | 1,48E+00  |
| Stickstoff-Verb. unspez. (W)                      | kg                 | 1,13E-10               | -          | 1,13E-10 | 1,45E-02                     | -          | 1,45E-02  |
| Stickstoff-Verb. als N (W)                        | kg                 | 5,73E-04               | -5,44E-05  | 5,18E-04 | 3,36E-01                     | -1,36E-06  | 3,36E-01  |
| Phosphat (W)                                      | kg                 | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Phosphor als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (W)    | kg                 | -                      | -          | -        | 4,36E-04                     | -          | 4,36E-04  |
| Phosphor-Verb. als P (W)                          | kg                 | 5,00E+00               | -3,29E-06  | 5,00E+00 | 6,81E-01                     | -1,28E-10  | 6,81E-01  |
| Charakterisierung                                 |                    |                        |            |          |                              |            |           |
| Ammoniak                                          | kg PO <sub>4</sub> | 2,98E+00               | -6,62E-02  | 2,91E+00 | 4,14E-01                     | -1,53E-02  | 3,98E-01  |
| Stickoxide (NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> ) | kg PO <sub>4</sub> | 9,20E+00               | -7,12E-01  | 8,49E+00 | 1,50E+01                     | -2,17E-01  | 1,48E+01  |
| CSB                                               | kg PO <sub>4</sub> | 1,56E+00               | -1,05E-05  | 1,56E+00 | 2,41E+00                     | -2,08E-04  | 2,41E+00  |
| Nitrit                                            | kg PO <sub>4</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Nitrat                                            | kg PO <sub>4</sub> | 1,90E+00               | -2,76E-05  | 1,90E+00 | 6,73E-01                     | -9,74E-09  | 6,73E-01  |
| Ammonium                                          | kg PO <sub>4</sub> | 2,67E+00               | -6,58E-04  | 2,67E+00 | 4,84E-01                     | -1,36E-07  | 4,84E-01  |
| Stickstoff-Verb. unspez.                          | kg PO <sub>4</sub> | 4,75E-11               | -          | 4,75E-11 | 6,10E-03                     | -          | 6,10E-03  |
| Stickstoff-Verb. als N                            | kg PO <sub>4</sub> | 2,40E-04               | -2,29E-05  | 2,18E-04 | 1,41E-01                     | -5,69E-07  | 1,41E-01  |
| Phosphat                                          | kg PO <sub>4</sub> | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Phosphate als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>       | kg PO <sub>4</sub> | -                      | -          | -        | 5,84E-04                     | -          | 5,84E-04  |
| Phosphor-Verb. als P                              | kg PO <sub>4</sub> | 1,53E+01               | -1,01E-05  | 1,53E+01 | 2,08E+00                     | -3,91E-10  | 2,08E+00  |
| Eutroph.-Potential (terrest.)                     | kg PO <sub>4</sub> | 1,22E+01               | -7,78E-01  | 1,14E+01 | 1,54E+01                     | -2,32E-01  | 1,52E+01  |
| Eutroph.-Potential (aquat.)                       | kg PO <sub>4</sub> | 2,14E+01               | -7,29E-04  | 2,14E+01 | 5,80E+00                     | -2,09E-04  | 5,80E+00  |
| Eutroph.-Potential (gesamt)                       | kg PO <sub>4</sub> | 3,36E+01               | -7,78E-01  | 3,28E+01 | 2,12E+01                     | -2,33E-01  | 2,10E+01  |
| <b>Ozonbildung</b>                                |                    |                        |            |          |                              |            |           |
| Klassifizierung                                   |                    |                        |            |          |                              |            |           |
| Acetylen (L)                                      | kg                 | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Benzol (L)                                        | kg                 | 5,57E-02               | -4,33E-03  | 5,13E-02 | 5,24E-01                     | -7,43E-04  | 5,23E-01  |
| Ethanol (L)                                       | kg                 | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Ethoxipropanol (L)                                | kg                 | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Ethylacetat (L)                                   | kg                 | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Ethylen (L)                                       | kg                 | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Formaldehyd (L)                                   | kg                 | 1,84E-01               | -1,72E-02  | 1,67E-01 | 1,21E-01                     | -2,69E-03  | 1,18E-01  |
| Methan (L)                                        | kg                 | 4,26E+01               | -5,83E+00  | 3,68E+01 | 6,88E+01                     | -4,80E+00  | 6,40E+01  |
| Propan (L)                                        | kg                 | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| NMVOC aus Deselemis. (L)                          | kg                 | 4,53E-02               | -          | 4,53E-02 | 9,90E-03                     | -          | 9,90E-03  |
| NMVOC unspez. (L)                                 | kg                 | 3,68E+00               | -4,01E-01  | 3,28E+00 | 7,47E+00                     | -2,01E-01  | 7,27E+00  |
| VOC unspez. (L)                                   | kg                 | 7,25E-05               | -2,13E-05  | 5,12E-05 | 1,83E+00                     | -          | 1,83E+00  |
| NMVOC (Kohlenwasserstoffe) (L)                    | kg                 | -                      | -          | -        | -                            | -8,18E-06  | -8,18E-06 |
| VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)                      | kg                 | 1,81E+01               | -          | 1,81E+01 | 4,24E+01                     | -8,24E-10  | 4,24E+01  |
| Charakterisierung                                 |                    |                        |            |          |                              |            |           |
| Acetylen                                          | kg Ethen           | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Benzol                                            | kg Ethen           | 1,05E-02               | -8,18E-04  | 9,70E-03 | 9,90E-02                     | -1,41E-04  | 9,89E-02  |
| Ethanol                                           | kg Ethen           | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Ethoxipropanol                                    | kg Ethen           | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Ethylacetat                                       | kg Ethen           | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |
| Ethylen                                           | kg Ethen           | -                      | -          | -        | -                            | -          | -         |

|                                     | Einheit  | BIOTECHNISCHER PROZESS |            |          | CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS |            |          |
|-------------------------------------|----------|------------------------|------------|----------|------------------------------|------------|----------|
|                                     |          | Brutto                 | Gutschrift | Netto    | Brutto                       | Gutschrift | Netto    |
| Formaldehyd                         | kg Ethen | 7,74E-02               | -7,25E-03  | 7,01E-02 | 5,08E-02                     | -1,13E-03  | 4,97E-02 |
| Methan                              | kg Ethen | 2,98E-01               | -4,08E-02  | 2,57E-01 | 4,81E-01                     | -3,36E-02  | 4,48E-01 |
| Propan                              | kg Ethen | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| NMVOC aus Dieselemis.               | kg Ethen | 3,17E-02               | -          | 3,17E-02 | 6,93E-03                     | -          | 6,93E-03 |
| NMVOC unspez.                       | kg Ethen | 1,53E+00               | -1,67E-01  | 1,36E+00 | 3,11E+00                     | -8,35E-02  | 3,03E+00 |
| VOC unspez.                         | kg Ethen | 6,84E+00               | -8,05E-06  | 6,84E+00 | 1,67E+01                     | -3,11E-10  | 1,67E+01 |
| POCP                                | kg Ethen | 8,79E+00               | -2,16E-01  | 8,57E+00 | 2,04E+01                     | -1,18E-01  | 2,03E+01 |
| <b>Humantoxizität</b>               |          |                        |            |          |                              |            |          |
| Klassifizierung = Charakterisierung |          |                        |            |          |                              |            |          |
| Benzo(a)paren (L)                   | kg       | 7,16E-06               | -4,13E-07  | 6,75E-06 | 3,66E-06                     | -2,45E-07  | 3,42E-06 |
| Blei (L)                            | kg       | 3,06E-04               | -2,91E-05  | 2,77E-04 | 1,62E-04                     | -1,04E-06  | 1,61E-04 |
| Cadmium (L)                         | kg       | 9,92E-05               | -4,46E-06  | 9,48E-05 | 3,44E-05                     | -2,67E-07  | 3,42E-05 |
| Dieselpartikel (L)                  | kg       | 8,77E-01               | -1,20E-01  | 7,58E-01 | 8,35E-01                     | -1,28E-02  | 8,22E-01 |
| Kohlenmonoxid (L)                   | kg       | 1,69E+01               | -1,49E+00  | 1,54E+01 | 4,23E+01                     | -6,27E-01  | 4,17E+01 |
| PAH (L)                             | kg       | 3,96E-04               | -1,28E-05  | 3,83E-04 | 4,74E-05                     | -2,45E-07  | 4,72E-05 |
| Schwefeloxide (L)                   | kg       | 5,64E+01               | -3,21E+00  | 5,32E+01 | 1,46E+02                     | -2,61E-01  | 1,46E+02 |
| Staub (L)                           | kg       | 1,21E+01               | -3,83E-01  | 1,17E+01 | 3,78E+01                     | -3,69E-02  | 3,77E+01 |
| TRS (L)                             | kg       | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| <b>Ökotoxizität</b>                 |          |                        |            |          |                              |            |          |
| Klassifizierung = Charakterisierung |          |                        |            |          |                              |            |          |
| Ammoniak (L)                        | kg       | 8,61E+00               | -1,91E-01  | 8,42E+00 | 1,20E+00                     | -4,43E-02  | 1,15E+00 |
| Chloride (L)                        | kg       | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| Fluorwasserstoff (L)                | kg       | 6,69E-02               | -1,42E-02  | 5,26E-02 | 4,82E-02                     | -2,08E-04  | 4,80E-02 |
| Schwefeldioxid (L)                  | kg       | 5,64E+01               | -3,21E+00  | 5,32E+01 | 1,46E+02                     | -2,61E-01  | 1,46E+02 |
| Schwefelwasserstoff (L)             | kg       | 7,25E-05               | -1,17E-05  | 6,08E-05 | 3,96E-04                     | -3,49E-05  | 3,62E-04 |
| Stickoxide (L)                      | kg       | 7,08E+01               | -5,47E+00  | 6,53E+01 | 1,15E+02                     | -1,67E+00  | 1,14E+02 |
| TRS (L)                             | kg       | -                      | -          | -        | -                            | -          | -        |
| Ammonium (W)                        | kg       | 8,16E+00               | -2,01E-03  | 8,16E+00 | 1,48E+00                     | -4,16E-07  | 1,48E+00 |
| AOX (W)                             | kg       | 2,60E-06               | -2,47E-07  | 2,36E-06 | 7,75E-03                     | -8,78E-09  | 7,75E-03 |
| Blei (W)                            | kg       | 5,62E-03               | -5,34E-04  | 5,08E-03 | 2,58E-03                     | -2,31E-08  | 2,58E-03 |
| Chlorid (W)                         | kg       | 1,01E+02               | -9,71E-02  | 1,00E+02 | 2,39E+02                     | -3,67E-05  | 2,39E+02 |
| Chrom (W)                           | kg       | 2,29E-04               | -2,18E-05  | 2,07E-04 | 7,46E-05                     | -1,21E-09  | 7,46E-05 |
| Fluorid (W)                         | kg       | 2,48E-03               | -2,36E-04  | 2,24E-03 | 8,09E-04                     | -9,16E-09  | 8,09E-04 |
| Halogene KW (W)                     | kg       | 1,84E-09               | -1,75E-10  | 1,67E-09 | 6,00E-10                     | -6,81E-15  | 6,00E-10 |
| PAH (W)                             | kg       | 2,14E-10               | -2,04E-11  | 1,94E-10 | 6,98E-11                     | -7,92E-16  | 6,98E-11 |
| sonstige KH (W)                     | kg       | 6,05E-04               | -1,85E-06  | 6,03E-04 | 2,04E+00                     | -7,18E-11  | 2,04E+00 |
| Sulfid (W)                          | kg       | 1,67E-05               | -1,59E-06  | 1,51E-05 | 1,37E-05                     | -6,17E-11  | 1,37E-05 |
| Zink (W)                            | kg       | 3,26E-04               | -3,10E-05  | 2,95E-04 | 1,09E-04                     | -6,04E-09  | 1,09E-04 |
| Zinn (W)                            | kg       | 8,02E-07               | -7,63E-08  | 7,26E-07 | 2,61E-07                     | -2,96E-12  | 2,61E-07 |

## 1.2 Vitamin B2-Produktion der BASF AG

### 1.2.1 Stoff- und Energiebilanzen (Sachbilanz)

Tabelle 1-12: Szenario BIOTECHNISCHER PROZESS - Netto-Ergebnis

| Input                                          |                          | Output                            |              |
|------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------|
| Chemische Grundstoffe                          |                          | Abfälle                           |              |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                      |                          | Abfälle zur Beseitigung           |              |
| Phosphate (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 9,39E+02 kg              | Abfälle, hausmüllähnlich          | 2,99E+02 kg  |
| Kumulierter Energieaufwand                     |                          | Abraum                            |              |
| KEA (Kernenergie)                              | 8,54E+07 kJ              | Bauschutt                         | -2,00E+01 kg |
| KEA (Wasserkraft)                              | 6,51E+06 kJ              | Sonderabfall                      | 7,70E+01 kg  |
| KEA, fossil gesamt                             | 3,93E+08 kJ              | Emissionen (Luft)                 |              |
| KEA, regenerativ                               | 2,06E+08 kJ              | Verbindungen, anorg. (L)          |              |
| KEA, sonstige                                  | 2,26E+08 kJ              | Ammoniak (L)                      | 2,88E+00 kg  |
| Naturraum                                      |                          | Chlorwasserstoff (L)              | 1,93E+00 kg  |
| Fläche K4 (BRD)                                | -3,50E+04 m <sup>2</sup> | Distickstoffmonoxid (L)           | 2,75E+01 kg  |
| Fläche K6 (BRD)                                | 3,60E+04 m <sup>2</sup>  | Kohlendioxid (L)                  |              |
| Fläche K7 (BRD)                                | 7,96E+01 m <sup>2</sup>  | Kohlendioxid, unspez. (L)         | 2,51E+04 kg  |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL)                |                          | NO <sub>x</sub> (L)               | 9,17E+01 kg  |
| Energieträger (RiL)                            |                          | Schwefeldioxid (L)                | 1,05E+02 kg  |
| Erdgas (RiL)                                   | 4,23E+03 kg              | VOC (L)                           |              |
| Erdöl (RiL)                                    | 9,32E+02 kg              | Kohlenwasserstoffe, unspez. (L)   | 1,01E-02 kg  |
| Kohlen (RiL)                                   |                          | Methan (L)                        | 5,55E+01 kg  |
| Braunkohle (RiL)                               | 3,02E+03 kg              | NM <sub>VOC</sub> (L)             |              |
| Steinkohle (RiL)                               | 2,84E+03 kg              | NM <sub>VOC</sub> , unspez. (L)   | 1,90E+01 kg  |
| Nichtenergeträger (RiL)                        |                          | Emissionen (Wasser)               |              |
| Mineralien und Erze (RiL)                      |                          | Emissionen (W)                    |              |
| Bauxit (RiL)                                   | 1,00E+00 kg              | Verbindungen, anorganisch (W)     |              |
| Eisenerz (RiL)                                 | 3,00E+00 kg              | Chlorid (W)                       | 4,01E+01 kg  |
| Kalkstein (RiL)                                | 5,93E+02 kg              | Metalle (W)                       |              |
| Sand (RiL)                                     | 8,20E+01 kg              | Metalle, unspez. (W)              | 2,99E-02 kg  |
| Steinsalz (RiL)                                | 7,99E+02 kg              | Phosphat (W)                      | 8,03E+00 kg  |
| Rohstoffe, elementar (RiL)                     |                          | Stickstoffverbindungen (W)        |              |
| Schwefel (RiL)                                 | 1,79E+02 kg              | Ammonium (W)                      | 7,25E-02 kg  |
| Stoffe, diverse                                |                          | Stickstoffverb., unspez. (W)      | 9,91E+00 kg  |
| Boden                                          | 2,57E+05 kg              | Sulfat (W)                        | 1,32E+01 kg  |
|                                                |                          | Verbindungen, organisch (W)       |              |
|                                                |                          | nichthalog. org. Verbindungen (W) |              |
|                                                |                          | KW (W)                            |              |
|                                                |                          | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W)   | 6,33E-02 kg  |
|                                                |                          | Indikatorparameter                |              |
|                                                |                          | AOX (W)                           | 2,06E-04 kg  |
|                                                |                          | BSB-5 (W)                         | 1,89E+00 kg  |
|                                                |                          | CSB (W)                           | 6,63E+02 kg  |

Tabelle 1-13: Szenario CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS - Netto-Ergebnis

| Input                                          |                          | Output                            |             |
|------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Chemische Grundstoffe                          |                          | Abfälle                           |             |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                      |                          | Abfälle zur Beseitigung           |             |
| Phosphate (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 1,50E+02 kg              | Abfälle, hausmüllähnlich          | 2,79E+02 kg |
| Kumulierter Energieaufwand                     |                          | Abraum                            |             |
| KEA (Kernenergie)                              | 3,70E+07 kJ              | Sonderabfall                      | 4,68E+03 kg |
| KEA (Wasserkraft)                              | 2,45E+06 kJ              | Emissionen (Luft)                 | 0,00E+00    |
| KEA, fossil gesamt                             | 8,49E+08 kJ              | Verbindungen, anorg. (L)          |             |
| KEA, regenerativ                               | 2,78E+07 kJ              | Ammoniak (L)                      | kg          |
| KEA, sonstige                                  | 5,69E+07 kJ              | Chlorwasserstoff (L)              | 1,14E+00 kg |
| Naturraum                                      |                          | Distickstoffmonoxid (L)           | 6,47E-01 kg |
| Fläche K4 (BRD)                                | -1,21E+03 m <sup>2</sup> | Kohlendioxid (L)                  | 0,00E+00    |
| Fläche K6 (BRD)                                | 3,18E+03 m <sup>2</sup>  | Kohlendioxid, unspez. (L)         | kg          |
| Fläche K7 (BRD)                                | 2,09E+02 m <sup>2</sup>  | NO <sub>x</sub> (L)               | 1,86E+02 kg |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL)                |                          | Schwefeldioxid (L)                | 4,24E+02 kg |
| Energieträger (RiL)                            |                          | VOC (L)                           | 0,00E+00    |
| Erdgas (RiL)                                   | 8,60E+03 kg              | Kohlenwasserstoffe, unspez. (L)   | kg          |
| Erdöl (RiL)                                    | 8,04E+03 kg              | Methan (L)                        | 6,35E+01 kg |
| Kohlen (RiL)                                   |                          | NM VOC (L)                        | 0,00E+00    |
| Braunkohle (RiL)                               | 3,30E+02 kg              | NM VOC, unspez. (L)               | kg          |
| Steinkohle (RiL)                               | 1,77E+03 kg              | Emissionen (Wasser)               | 0,00E+00    |
| Nichtenergeträger (RiL)                        |                          | Emissionen (W)                    |             |
| Mineralien und Erze (RiL)                      |                          | Verbindungen, anorganisch (W)     |             |
| Bauxit (RiL)                                   | 5,00E+00 kg              | Chlorid (W)                       | kg          |
| Eisenerz (RiL)                                 | 3,00E+00 kg              | Metalle (W)                       | 0,00E+00    |
| Kalkstein (RiL)                                | 1,31E+02 kg              | Metalle, unspez. (W)              | kg          |
| Sand (RiL)                                     | 1,40E+01 kg              | Phosphat (W)                      | 5,00E-01 kg |
| Steinsalz (RiL)                                | 8,08E+02 kg              | Stickstoffverbindungen (W)        | 0,00E+00    |
| Rohstoffe, elementar (RiL)                     |                          | Ammonium (W)                      | kg          |
| Schwefel (RiL)                                 | 2,87E+02 kg              | Stickstoffverb., unspez. (W)      | 5,42E-01 kg |
| Stoffe, diverse                                |                          | Sulfat (W)                        | 1,19E+01 kg |
| Boden                                          | 9,08E+03 kg              | Verbindungen, organisch (W)       | 0,00E+00    |
|                                                |                          | nichthalog. org. Verbindungen (W) |             |
|                                                |                          | KW (W)                            |             |
|                                                |                          | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W)   | kg          |
|                                                |                          | Indikatorparameter                | 0,00E+00    |
|                                                |                          | AOX (W)                           | kg          |
|                                                |                          | BSB-5 (W)                         | 3,67E+01 kg |
|                                                |                          | CSB (W)                           | 2,08E+02 kg |

### 1.2.2 Daten zur Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung)

Tabelle 1-14: Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung) für beide Szenarien

|                                    | Einheit                             | BIOTECHNISCHER PROZESS | CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>KEA</b>                         |                                     |                        |                              |
|                                    | Klassifizierung = Charakterisierung |                        |                              |
| KEA fossil                         | kJ                                  | 3,93E+08               | 8,49E+08                     |
| KEA Kernkraft                      | kJ                                  | 8,54E+07               | 3,70E+07                     |
| KEA sonstige                       | kJ                                  | 2,26E+08               | 5,69E+07                     |
| KEA Wasserkraft                    | kJ                                  | 6,51E+06               | 2,45E+06                     |
| KEA regenerativ                    | kJ                                  | 2,06E+08               | 2,78E+07                     |
| Summe KEA                          | kJ                                  | 9,17E+08               | 9,73E+08                     |
| <b>Treibhauseffekt</b>             |                                     |                        |                              |
|                                    | Klassifizierung                     |                        |                              |
| Perfluorethan (L)                  | kg                                  | -                      | -                            |
| Perfluormethan (L)                 | kg                                  | -                      | -                            |
| Methan (L)                         | kg                                  | 5,55E+01               | 6,35E+01                     |
| Kohlendioxid fossil u. unspez. (L) | kg                                  | 2,51E+04               | 5,03E+04                     |
| Halon 1301 (L)                     | kg                                  | -                      | -                            |
| Distickstoffmonoxid (L)            | kg                                  | 2,75E+01               | 6,47E-01                     |
| R11 (L)                            | kg                                  | -                      | -                            |
| R113 (L)                           | kg                                  | -                      | -                            |
| R114 (L)                           | kg                                  | -                      | -                            |
| R115 (L)                           | kg                                  | -                      | -                            |
| R12 (L)                            | kg                                  | -                      | -                            |
| R123 (L)                           | kg                                  | -                      | -                            |
| R141 (L)                           | kg                                  | -                      | -                            |
| R142 (L)                           | kg                                  | -                      | -                            |
| R 22 (L)                           | kg                                  | -                      | -                            |
| R 134a (L)                         | kg                                  | -                      | -                            |
| R 404A (L)                         | kg                                  | -                      | -                            |
| R 407C (L)                         | kg                                  | -                      | -                            |
| R 410A (L)                         | kg                                  | -                      | -                            |
| R 417a (Isceon 59) (L)             | kg                                  | -                      | -                            |
| Tetrachlorkohlenstoff (L)          | kg                                  | -                      | -                            |
| Trichlorethan (L)                  | kg                                  | -                      | -                            |
|                                    | Charakterisierung                   |                        |                              |
| Perfluorethan                      | kg CO <sub>2</sub>                  | -                      | -                            |
| Perfluormethan                     | kg CO <sub>2</sub>                  | -                      | -                            |
| Methan                             | kg CO <sub>2</sub>                  | 1,17E+03               | 1,33E+03                     |
| Kohlendioxid fossil u. unspez.     | kg CO <sub>2</sub>                  | 2,51E+04               | 5,03E+04                     |
| Halon 1301                         | kg CO <sub>2</sub>                  | -                      | -                            |
| Distickstoffmonoxid                | kg CO <sub>2</sub>                  | 8,52E+03               | 2,01E+02                     |

|                                                       | Einheit            | BIOTECHNISCHER PROZESS | CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS |
|-------------------------------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|
| R 11                                                  | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 113                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 114                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 115                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 12                                                  | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 123                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 141                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 142                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 22                                                  | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 134a                                                | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 404A                                                | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 407C                                                | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 410A                                                | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| R 417a (Isceon 59)                                    | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| Tetrachlorkohlenstoff                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| Trichlorethan                                         | kg CO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| Treibhauspotential (GWP 100)                          | kg CO <sub>2</sub> | 3,48E+04               | 5,18E+04                     |
| <b>Versauerung</b>                                    |                    |                        |                              |
|                                                       | Klassifizierung    |                        |                              |
| Chlorwasserstoff (L)                                  | kg                 | 1,93E+00               | 1,14E+00                     |
| Fluorwasserstoff (L)                                  | kg                 | -                      | -                            |
| Schwefeloxide (als SO <sub>2</sub> ) (L)              | kg                 | 1,05E+02               | 4,24E+02                     |
| Schwefelwasserstoff (L)                               | kg                 | -                      | -                            |
| Stickoxide (NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> ) (L) | kg                 | 9,17E+01               | 1,86E+02                     |
| TRS (L)                                               | kg                 | -                      | -                            |
| Ammoniak (L)                                          | kg                 | 2,87E+00               | 7,99E-01                     |
|                                                       | Charakterisierung  |                        |                              |
| Chlorwasserstoff                                      | kg SO <sub>2</sub> | 1,70E+00               | 1,00E+00                     |
| Fluorwasserstoff                                      | kg SO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| Schwefeloxide (als SO <sub>2</sub> )                  | kg SO <sub>2</sub> | 1,05E+02               | 4,24E+02                     |
| Schwefelwasserstoff                                   | kg SO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| Stickoxide (als NO <sub>2</sub> )                     | kg SO <sub>2</sub> | 6,42E+01               | 1,30E+02                     |
| TRS                                                   | kg SO <sub>2</sub> | -                      | -                            |
| Ammoniak                                              | kg SO <sub>2</sub> | 5,40E+00               | 1,50E+00                     |
| Versauerungspotential                                 | kg SO <sub>2</sub> | 1,77E+02               | 5,57E+02                     |
| <b>Eutrophierung</b>                                  |                    |                        |                              |
|                                                       | Klassifizierung    |                        |                              |
| Ammoniak (L)                                          | kg                 | 2,87E+00               | 7,99E-01                     |
| Stickoxide (NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> ) (L) | kg                 | 9,17E+01               | 1,86E+02                     |
| CSB (W)                                               | kg                 | 6,63E+02               | 2,08E+02                     |
| Nitrit (W)                                            | kg                 | -                      | -                            |
| Nitrat (W)                                            | kg                 | -                      | -                            |
| Ammonium (W)                                          | kg                 | 7,25E-02               | 1,46E+01                     |
| Stickstoff-Verb. unspez. (W)                          | kg                 | 9,90E+00               | 5,42E-01                     |
| Stickstoff-Verb. als N (W)                            | kg                 | -                      | -                            |

|                                                   | Einheit            | BIOTECHNISCHER PROZESS | CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS |
|---------------------------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|
| Phosphat (W)                                      | kg                 | 8,03E+00               | 5,00E-01                     |
| Phosphor als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (W)    | kg                 | -                      | -                            |
| Phosphor-Verb. als P (W)                          | kg                 | -                      | -                            |
| Charakterisierung                                 |                    |                        |                              |
| Ammoniak                                          | kg PO <sub>4</sub> | 9,94E-01               | 2,77E-01                     |
| Stickoxide (NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> ) | kg PO <sub>4</sub> | 1,19E+01               | 2,42E+01                     |
| CSB                                               | kg PO <sub>4</sub> | 1,46E+01               | 4,58E+00                     |
| Nitrit                                            | kg PO <sub>4</sub> | -                      | -                            |
| Nitrat                                            | kg PO <sub>4</sub> | -                      | -                            |
| Ammonium                                          | kg PO <sub>4</sub> | 2,37E-02               | 4,76E+00                     |
| Stickstoff-Verb. unspez.                          | kg PO <sub>4</sub> | 4,16E+00               | 2,28E-01                     |
| Stickstoff-Verb. als N                            | kg PO <sub>4</sub> | -                      | -                            |
| Phosphat                                          | kg PO <sub>4</sub> | 8,03E+00               | 5,00E-01                     |
| Phosphate als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>       | kg PO <sub>4</sub> | -                      | -                            |
| Phosphor-Verb. als P                              | kg PO <sub>4</sub> | -                      | -                            |
| Eutroph.-Potential (terrest.)                     | kg PO <sub>4</sub> | 1,29E+01               | 2,45E+01                     |
| Eutroph.-Potential (aquat.)                       | kg PO <sub>4</sub> | 2,68E+01               | 1,01E+01                     |
| Eutroph.-Potential (gesamt)                       | kg PO <sub>4</sub> | 3,97E+01               | 3,45E+01                     |
| <b>Ozonbildung</b>                                |                    |                        |                              |
| Klassifizierung                                   |                    |                        |                              |
| Acetylen (L)                                      | kg                 | -                      | -                            |
| Benzol (L)                                        | kg                 | -                      | -                            |
| Ethanol (L)                                       | kg                 | -                      | -                            |
| Ethoxipropanol (L)                                | kg                 | -                      | -                            |
| Ethylacetat (L)                                   | kg                 | -                      | -                            |
| Ethylen (L)                                       | kg                 | -                      | -                            |
| Formaldehyd (L)                                   | kg                 | -                      | -                            |
| Methan (L)                                        | kg                 | 5,55E+01               | 6,35E+01                     |
| Propan (L)                                        | kg                 | -                      | -                            |
| NMVOC aus Dieselemis. (L)                         | kg                 | -                      | -                            |
| NMVOC unspez. (L)                                 | kg                 | 1,90E+01               | 6,79E+01                     |
| VOC unspez. (L)                                   | kg                 | -                      | -                            |
| NMVOC (Kohlenwasserstoffe) (L)                    | kg                 | -                      | -                            |
| VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)                      | kg                 | 1,01E-02               | 2,63E-03                     |
| Charakterisierung                                 |                    |                        |                              |
| Acetylen                                          | kg Ethen           | -                      | -                            |
| Benzol                                            | kg Ethen           | -                      | -                            |
| Ethanol                                           | kg Ethen           | -                      | -                            |
| Ethoxipropanol                                    | kg Ethen           | -                      | -                            |
| Ethylacetat                                       | kg Ethen           | -                      | -                            |
| Ethylen                                           | kg Ethen           | -                      | -                            |
| Formaldehyd                                       | kg Ethen           | -                      | -                            |
| Methan                                            | kg Ethen           | 3,89E-01               | 4,44E-01                     |
| Propan                                            | kg Ethen           | -                      | -                            |
| NMVOC aus Dieselemis.                             | kg Ethen           | -                      | -                            |

|                         | Einheit                             | BIOTECHNISCHER PROZESS | CHEMISCH-TECHNISCHER PROZESS |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| NMVOC unspez.           | kg Ethen                            | 7,92E+00               | 2,82E+01                     |
| VOC unspez.             | kg Ethen                            | 3,82E-03               | 9,91E-04                     |
| POCP                    | kg Ethen                            | 8,31E+00               | 2,87E+01                     |
| <b>Humantoxizität</b>   |                                     |                        |                              |
|                         | Klassifizierung = Charakterisierung |                        |                              |
| Benzo(a)paren (L)       | kg                                  | -                      | -                            |
| Blei (L)                | kg                                  | -                      | -                            |
| Cadmium (L)             | kg                                  | -                      | -                            |
| Dieselpartikel (L)      | kg                                  | -                      | -                            |
| Kohlenmonoxid (L)       | kg                                  | -                      | -                            |
| PAH (L)                 | kg                                  | -                      | -                            |
| Schwefeloxide (L)       | kg                                  | 1,05E+02               | 4,24E+02                     |
| Staub (L)               | kg                                  | -                      | -                            |
| TRS (L)                 | kg                                  | -                      | -                            |
| <b>Ökotoxizität</b>     |                                     |                        |                              |
|                         | Klassifizierung = Charakterisierung |                        |                              |
| Ammoniak (L)            | kg                                  | 2,87E+00               | 7,99E-01                     |
| Chloride (L)            | kg                                  | -                      | -                            |
| Fluorwasserstoff (L)    | kg                                  | -                      | -                            |
| Schwefeldioxid (L)      | kg                                  | 1,05E+02               | 4,24E+02                     |
| Schwefelwasserstoff (L) | kg                                  | -                      | -                            |
| Stickoxide (L)          | kg                                  | 9,17E+01               | 1,86E+02                     |
| TRS (L)                 | kg                                  | -                      | -                            |
| Ammonium (W)            | kg                                  | 7,25E-02               | 1,46E+01                     |
| AOX (W)                 | kg                                  | 2,06E-04               | 3,90E-01                     |
| Blei (W)                | kg                                  | -                      | -                            |
| Chlorid (W)             | kg                                  | 4,01E+01               | 9,22E+02                     |
| Chrom (W)               | kg                                  | -                      | -                            |
| Fluorid (W)             | kg                                  | -                      | -                            |
| Halogene KW (W)         | kg                                  | -                      | -                            |
| PAH (W)                 | kg                                  | -                      | -                            |
| sonstige KH (W)         | kg                                  | 6,33E-02               | 3,92E-01                     |
| Sulfid (W)              | kg                                  | -                      | -                            |
| Zink (W)                | kg                                  | -                      | -                            |
| Zinn (W)                | kg                                  | -                      | -                            |



## 2 Anhang zum Verfahrensvergleich 2 - Biotechnische und Chemisch-technische Lederaufbereitung

### 2.1 Grundlagen der Lederherstellung

Nachfolgend werden die Grundlagen der Lederherstellung in detaillierter Form erläutert, um ein besseres Verständnis für die Zusammenhänge der Lederherstellung zu ermöglichen.

#### 2.1.1 Frühere und heutige Gerbverfahren

Tierische Häute und Felle wurden schon in der Vorgeschichte der Zivilisation auf primitive Weise präpariert und so für die jeweilige Anwendung (z.B. Bekleidung) nutzbar gemacht. Die Verarbeitung der Tierhäute zu Leder mit Hilfe von Gerbstoffen war schon den Menschen aus der Altsteinzeit (ca. 8000 v. Chr.) bekannt. Im Laufe der Zeit wurden unterschiedliche Gerbtechniken entwickelt. Die Fettgerbung (**Sämischgerbung**) wurde bereits in der Jungsteinzeit (ca. 6000 v. Chr.) angewendet. Auch die Rauchgerbung über dem Feuer und die mineralische Gerbung mit Alaun (**Weißgerbung**) dürften sehr alte Gerbarten sein. Das Gerben mit pflanzlichen Mitteln (**vegetabile Gerbung**) ist seit der Bronzezeit (ca. 2000 v. Chr.) nachweisbar, wobei hauptsächlich die Rinde von Eichen und Buchen als Gerbmittel verwendet wurden. Diese **Lohgerbung** wurde traditionell im Mittelalter angewandt. Aus diesen Anfängen entwickelte sich mit fortschreitender Zivilisation und Wissenschaft ein Handwerk und später ein Industriezweig. Seit 1900 ist die **Chromgerbung** mit Chromsalzen die wichtigste Gerbmethode, da sie eine kürzere Laufzeit hat als die Lohgerbung, die sich bis zu 15 Monaten hinziehen kann (Lederhaus, 2003).

Nach diesem als „wet-blue-Verfahren“ bezeichnete Gerbverfahren auf Basis von Metallsalzen, meistens Chromsalze, werden etwa 80 bis 90 % aller gebräuchlichen Lederarten hergestellt (Trommer und Kellert, 1999). Dem gegenüber steht das „wet-white-Verfahren“, bei dem keine Metallsalze verwendet werden.

#### 2.1.2 Lederarten

Je nach der Ausgestaltung des Gerbprozesses werden die Leder entsprechend ihrer späteren Verwendung zu verschiedenen Produkten gefertigt.

Blankleder ist klassisch rein vegetabil (pflanzliche Gerbstoffe) und hauptsächlich in Gruben gegerbt. Es kommen nur Kuhhäute (keinen Bullen sowie andere Tierhäute) zum Einsatz. Daraus resultiert eine gleichmäßige Stellung der Haut (Faserstruktur, Dicke) über die gesamte Fläche. Das Blankleder hat einen etwas geringeren Fettgehalt von 5 bis 11 % und ist nicht so weich wie Bekleidungsleder.

Nubuk hat eine weiche, offene Oberfläche und ist samtartig sowie kurz geschliffen.

Anilin überzeugt durch seine weiche hautähnliche Oberfläche mit durchsichtiger Schutzschicht und ist dabei angenehm im Griff. Jede Pore ist sichtbar und fühlbar. Es ist ein sehr hochwertiges Leder, abwaschbar und vom Aussehen edel und matt. Semi-Anilin liegt zwischen Anilin und Nappa und vereint die Vorzüge beider Ledersorten.

Nappa wird auch Glattleder genannt. Seine Oberfläche ist zugerichtet, dadurch sind die Poren verschlossen. Oft sind Strukturen durch Prägung nachempfunden. Nappa hat den Vorteil, besonders abweisend gegen Feuchtigkeit und Verschmutzung zu sein.

Velour wird auch als "Wildleder" bezeichnet. Es wirkt durch seine langfaserige Oberfläche mit weichem Griff.

Volleder ist ungespaltenes dickes Leder mit der Narbenschicht als Oberleder und der Lederschicht der Fleischseite (Lederhaus, 2003).

### 2.1.3 Prozessschritte der Lederherstellung

In den vorbereitenden Prozessen wird die Rohware (Felle, Häute) vorbehandelt, um dem Verfall vorzubeugen und lederfremde Stoffe abzusondern.

#### 2.1.3.1 Vorsortierung (Sorting)

Beim Wareneingang können die Tierhäute und Felle nach mehreren Merkmalen, wie z.B. Größe, Gewicht, Qualität oder auch Geschlecht, sortiert werden.

#### 2.1.3.2 Zurechtschneiden (Trimming)

Während des Sortierprozesses können einige Teile des Fells oder der Haut (Bein, Schwanz, Kopf, Euter...) abgetrennt werden. Normalerweise wird dieser Prozessschritt bei der Schlachtung durchgeführt, aber er kann auch in die Gerbereien verlagert werden.

### 2.1.3.3 Trocknen/Salzen, haltbar machen (Curing)

Wenn die Rohware nicht gleich weiterverarbeitet wird, muss sie durch Wasserentzug haltbar gemacht werden. Übliche Konservierungspraktiken für längere Zeiten sind Salzen, Pökeln, Trocknen und Salztrocknen. Eine Konservierung für kurze Zeit (2 - 5 Tage) wird durch Kühlung, eventuell auch unter Zusatz von Bioziden, erreicht. Die Kühlung erfolgt mittels zerkleinertem Eis oder in Kühlräumen.

Die Konservierung erfolgt in der Schlachtstätte, auf den Fellmärkten oder in der Gerberei. Es kann vorkommen, dass die Ware in der Gerberei erneut konserviert werden muss, z.B. wenn die gekühlten Felle doch für längere Zeit gelagert werden sollen oder wenn sich die erste Konservierung nicht zufriedenstellend erweist.

### 2.1.3.4 Lagern (Storing)

Die in der Gerberei angelieferten Felle und Häute werden je nach Konservierungsart in der Regel in belüfteten oder gekühlten Räumen auf Paletten gelagert. Nach Bedarf wird die Ware dem Gerbprozess zugeführt.

### 2.1.3.5 Weichen (Soaking)

Die Weiche hat die Aufgabe, die Rohhaut von anhaftenden Verunreinigungen zu befreien, Konservierungsmittel zu entfernen und den Quellungszustand wie am Körper des lebenden Tieres wiederherzustellen. Die eingesetzte Technik richtet sich nach dem Zustand der Rohware. In den meisten Fällen untergliedert sich der Prozess in zwei Teilschritte. Einen Weichvorgang, um den Dreck und das Salz herauszulösen, und einen Hauptweichvorgang zur Flüssigkeitsaufnahme. Das Weichen erfolgt in Mischern, Trommeln, Gruben oder Kanälen. Kanäle und Gruben werden üblicherweise bei Schafhäuten eingesetzt. Der Weichprozess dauert zwischen mehreren Stunden und einigen Tagen. In Abhängigkeit von der eingesetzten Rohware können auch Zusatzstoffe wie zum Beispiel Tenside, Enzyme oder Bakterizide beim Weichen eingesetzt werden. Enzyme wurden früher in Form der „faulen Weiche“ eingesetzt, wobei gebrauchte Weichflotten mit hohen Anteilen an abgebautem Eiweiß und hohem Bakterienbesatz den frisch angesetzten Weichflotten zugemischt wurden und dort für ein starkes Bakterienwachstum und damit eine hohe Enzymproduktion sorgten. Durch die Anwesenheit der Fäulnisbakterien besteht die Gefahr irreversibler Hautschäden. Eine

Ausweitung der enzymatischen Weiche trat erst ein, nachdem wirksame proteolytische Bakterien- und Pilzenzyme in ausreichendem Maße zur Verfügung standen. In der Wasserwerkstatt kommt den Proteasen (proteolytische Enzyme), den eiweißspaltenden Enzymen, die größte Bedeutung zu. Die Einsatzmenge hängt von deren Konzentration und der Hautkonservierung ab. Bei den vielen anwendungstechnischen Vorteilen sind der Enzymweiche aber Grenzen hinsichtlich der Enzymaktivität gesetzt, da bereits im Zeitraum von sechs Stunden ein Angriff auf kollagene Proteine erfolgen kann (Zissel, 1988).

Das Weichen erfolgt bei pH 7 - 9. Es kommen Pilz- und Bakterien-Proteasen sowie Trypsin (Pankreas-Extrakt) zur Unterstützung der Weiche zum Einsatz (Schmid, 2002).

#### 2.1.3.6 Äschern - Enthaaren und Hautaufschluss (Liming, Unhairing)

Unter Äschern wird der Prozessschritt verstanden, bei dem die Häute enthaart werden und die Faserstruktur der Haut aufgeschlossen wird. Die Entfernung der Haare und anderer Hautkomponenten erfolgt chemisch oder mechanisch. Der Hornstoff (Haare, Haarwurzeln, Epidermis (Hornhaut)) und das Fett werden hauptsächlich durch Einsatz von Sulfiden ( $\text{NaHS}$  oder  $\text{Na}_2\text{S}$ ) und Kalk entfernt. Als Alternative zu den anorganischen Sulfiden bieten sich organische Präparate wie Mercaptane oder Natriumthioglykolat in Kombination mit starken Alkali- und Aminomischungen an. Teilweise werden Enzympräparate zugegeben, um die Wirksamkeit des Prozesses zu verbessern. Das Äschern kann in Trommeln, Mischern oder Gruben durchgeführt werden.

Bei Schaffellen wird die Haut mit einer Lösung aus Natriumsulfid und Kalk bestrichen, die die Verbindung zwischen Haarwurzel und Haut zerstört. Dies erlaubt es, dass die Wollfasern weitgehend unbeschädigt von der Haut abgezogen werden können. Die genannte Lösung wird auf der Innenseite des Fells aufgesprüht und muss dort einige Stunden einwirken. Danach kann die Wolle von der Haut gezogen werden. Nach diesem Verfahren durchlaufen die Häute den normalen Äscherprozess.

Unterschieden wird je nach der angewandten Verfahrensführung zwischen „haarzerstörendem Prozess“ und „haarerhaltendem Prozess“. Beim haarerhaltenden Prozess werden die Haare auf chemischem Weg gelockert und dann mechanisch durch Abwalzen oder eine maschinelle Enthaarung entfernt. Beim haarzerstörenden Prozess hin-

gegen erfolgt durch den Chemikalieneinsatz ein weitgehend hydrolytischer Abbau der Haare.

Bei Kleintierfellen wird meistens haarerhaltend gearbeitet, da die anfallenden Haare oder die Wolle wertvoll sind. Bei Schweinhäuten liefert die Enzymbehandlung einwandfreie Borsten. Bei Rindhäuten und Kalbfellen ist die Haargewinnung aus ökonomischen Gründen gegenwärtig zumeist uninteressant (Zissel, 1988).

#### 2.1.3.7 Entfleischen (Fleshing)

Beim Entfleischen wird an der Haut anhaftendes organisches Material (Bindegewebe, Fett...) mechanisch abgeschabt. Dies erfolgt in einer Entfleischungsmaschine, wobei die Häute mit rotierenden Klingen bestückte Walzen durchlaufen. Das Entfleischen kann vor oder nach dem Weichen, nach dem Äschern oder nach dem Pickeln durchgeführt werden. Wird das Entfleischen vor dem Äschern durchgeführt, bezeichnet man diesen Prozessschritt als green-fleshing, nach dem Äschern als lime-fleshing. Schaffelle können auch erst nach dem Pickeln entfleischt werden.

#### 2.1.3.8 Spalten (Splitting)

Mit dem mechanischen Spalten wird die Dicke der Häute und Felle reguliert. Sie werden horizontal gespalten in einen Narbenspalt (obere Lederfaserschicht) und, wenn die Haut dick genug ist, einen Fleischspalt (untere Faserschicht). Das Spalten geschieht in einer Spaltmaschine, die mit einem Bandmesser ausgerüstet ist. Das Spalten kann nach dem Äschern oder nach dem Gerben durchgeführt werden.

In der Gerberei folgen nun die Kernprozesse der Gerbung.

#### 2.1.3.9 Entkälken (Deliming)

Beim Entkälken wird zurückgebliebener Kalk, aber auch sonstige zurückgebliebene Chemikalien oder Hautteile, von den Häuten entfernt um optimale Bedingungen für das Beizen zu schaffen. Hierbei wird der pH-Wert abgesenkt und die Prozesstemperatur erhöht. Üblicherweise findet das Entkälken in Trommeln, Mischern oder Rührern statt.

#### 2.1.3.10 Beizen (Bating)

Beim Beizen erfolgt zumindest eine teilweise Schwächung oder Zerstörung von nicht kollagenen Proteinen durch Enzymeinsatz. Dadurch lässt sich die Weichheit des resultierenden Leders kontrollieren. Bei diesem Prozess werden auch eventuell noch „eingeklemmte“ Haarwurzeln entfernt.

#### 2.1.3.11 Entfetten (Degreasing)

Überflüssiges Fett muss von fetten Häuten (Schaf, Schwein) entfernt werden, um zu verhindern, dass sich unlösliche Chrom-Seifen oder später unegale Fettansammlungen bilden. Am wichtigsten ist das Entfetten bei den Schaffellen, bei denen der natürliche Fettgehalt bei 10 bis 20 % des Trockengewichts liegt. Die Beseitigung des Fettes ist schwierig, da es gesättigte Triglyceride enthält und die Schmelztemperatur hoch ist. Die Entfettung kann mit organischen Lösungsmitteln und nichtionischen Tensiden, nur mit nichtionischen Tensiden oder mit nur einem Lösungsmittel erfolgen. Auch der Einsatz von Lipasen ist beschrieben (Schäfer und Dalboge, 1999), wobei alkalische Lipasen (pH 7 – 13) und saure Lipasen (pH 3 – 7) eingesetzt werden können. Beim Entfetten von Rinderhäuten können durch Lipasen die ansonsten eingesetzten Tenside fast komplett ersetzt werden. Bei Schaffellen ist der Ersatz der Tenside durch Lipasen und Lösungsmittel möglich.

#### 2.1.3.12 Pickeln (Pickling)

Beim Pickeln erfolgt eine pH-Wert-Absenkung. Dies wird vor allem vor mineralischem Gerben und einigen organischen Gerbverfahren (Chrom-Gerbung, vegetabile Gerbung) durchgeführt. Die Wahl der exakten Parameter für das Pickeln hängt vom nachfolgenden Gerben ab. Vielfach wird die Gerbung und das Pickeln in der gleichen Flüssigkeit durchgeführt. Häute aus dem Pickelprozess sind bereits handelbar. Allerdings müssen diese Häute dann zum Schutz vor Schimmelpilzbefall mit Fungiziden behandelt werden.

#### 2.1.3.13 Gerben (Tanning)

Durch die Gerbstoffe werden die Kollagenfasern der Häute vernetzt und stabilisiert, so dass die Haut nicht länger anfällig für Fäulnis ist. Weiterhin wird die Beständigkeit ge-

gen mechanische Einwirkung und Hitze verbessert. Es existieren eine Vielzahl von Gerbverfahren, wobei drei Hauptgruppen unterschieden werden:

- mineralische Gerbung (z.B. Chromgerbung)
- vegetabile Gerbung (auf pflanzlicher Basis)
- alternative Gerbstoffe (z.B. Glutardialdehyd)

Die Chromgerbung und die vegetabile Gerbung sind am weitesten verbreitet.

#### 2.1.3.14 Entwässern (Wringling, Draining, Samming, Setting)

Nach dem Gerben werden die Leder maschinell ausgewaschen und entwässert. Danach werden die Leder in verschiedene Qualitätsklassen eingeteilt, nach denen sie weiterverarbeitet oder verkauft werden.

#### 2.1.3.15 Spalten (Splitting)

Das Spalten wird durchgeführt, um die Lederhäute auf eine vorgegebene Dicke zu bringen. Ist die Haut dick genug, kann sie in eine Narbenschicht (Oberleder) und eine Fleischschicht (untere Faserschicht) aufgetrennt werden. Beide Häute können dann zu Ledern verarbeitet werden. Das Spalten kann vor dem Gerben oder nach dem Gerben, aber auch erst nach dem Trocknen durchgeführt werden.

#### 2.1.3.16 Falzen (Shaving)

Eine zweite Möglichkeit, eine gleichmäßige Dicke des Leders zu erreichen, bietet das so genannte Falzen. Mittels rotierenden Messerwalzen wird eine exakte Materialdicke eingestellt.

Durch dem Gerben nachgeschaltete Prozesse soll gewährleistet werden, dass die Eigenschaften der Haut auch im Leder fortbestehen. Zudem werden weitere, gewünschte Eigenschaften wie Farbe, Wasserdichtigkeit, Atmungsaktivität, flammenhemmende Eigenschaften, Festigkeit oder Geschmeidigkeit beeinflusst.

#### 2.1.3.17 Neutralisieren (Neutralisation)

Beim Neutralisieren wird der pH-Wert auf ein geeignetes Niveau für das nochmalige Gerben, das Färben und das Fetten gebracht.

#### 2.1.3.18 Bleichen (Bleaching)

Insbesondere auf Naturbasis gegerbte Häute, aber auch Wollfelle oder behaarte Felle, können einen Bleichvorgang erforderlich machen, der Flecken entfernt oder die Farbinintensität der Haare, der Wolle oder des Leders mindert, bevor das Leder nochmals gegerbt oder gefärbt wird.

#### 2.1.3.19 Nochmaliges Gerben (Retanning)

Das wiederholte Gerben wird durchgeführt, um Geschmeidigkeit, Handling und Fülle zu verbessern. Auch werden mögliche Schwachstellen im Leder ausgeglichen und somit eine einheitlichere physikalische Beständigkeit erreicht. Dies steigert den Wert des Leders beim Verkauf erheblich. Zum nochmaligen Gerben kann eine Vielzahl von Chemikalien eingesetzt werden. Im allgemeinen sind das Gerbstoffe auf Naturbasis, Synthane, Aldehyde, mineralische Gerbstoffe und Harze.

#### 2.1.3.20 Färben (Dyeing)

Beim Färbeprozess werden über die ganze Oberfläche des Leders verteilt feine Farbnuancen erzeugt. Typische Farbstoffe sind wasserbasierende saure Farbstoffe. Weniger häufig werden einfache Farbstoffe oder Reaktivfarbstoffe eingesetzt.

#### 2.1.3.21 Fetten (Fatliquoring)

Um produktspezifische Eigenschaften zu erreichen und den Verlust an Fett während den vorangegangenen Prozessschritten auszugleichen, müssen die Leder eingefettet werden. Hierzu eignen sich tierische oder pflanzliche Öle, aber auch synthetisch erzeugte Produkte auf Rohölbasis. Das Füllen (Stuffing) ist eine ältere Technik, hauptsächlich für schwere, auf Naturbasis gegerbte, Leder. Dabei wird das entwässerte Leder in einer Trommel, gefüllt mit einer Mischung aus geschmolzenen Fetten, behandelt. Das nochmals gegerbte, trockene und gefettete Leder wird üblicherweise gewaschen bevor es zur Reifung auf einen Stapel aufgehäuft wird. Beim Reifen wandert das Fett von der Oberfläche ins Innere der Lederhaut.

Moderne Fettungsmittel werden in Emulsionsform ins Leder eingewalkt und bestimmen durch Menge und chemischen Charakter die Weichkeit, das Handling und z.B. Effekte wie Wasserabweisung des resultierenden Leders.

#### 2.1.3.22 Trocknen (Drying)

Beim Trocknen wird der Wassergehalt gesenkt und gleichzeitig die Qualität und der Ertrag optimiert. Es existieren eine Vielzahl an Trocknungstechniken, die alleine oder in Kombination zum Einsatz kommen. Jede angewandte Technik hat eigene Wirkungen auf die Ledereigenschaften. Zu erwähnen sind hier das Auswringen, Strecken, Zentrifugieren, Hängetrocknen, Vakuumtrocknen und Klebetrocknen. Normalerweise werden das Auswringen und Strecken vorgeschaltet, um den Wassergehalt zu reduzieren, bevor mit einer anderen Technik das Leder weitergetrocknet wird. Nach dem Trocknen wird das Leder als Crustleder bezeichnet und stellt ab diesem Verarbeitungsstand ein handelbares Produkt dar.

Mit weiteren nachbearbeitenden Prozessen werden die Leder veredelt, indem ihnen bestimmte Eigenschaften und das jeweils gewünschte Aussehen verliehen werden.

#### 2.1.3.23 Stollen (Staking)

Um das Leder nach dem Trocknen weich zu machen, wird es maschinell gestollt, d.h. flexibel gemacht, und in weiteren Arbeitsgängen für die Zurichtung vorbereitet.

#### 2.1.3.24 Zurichten, Endbehandlung (Finishing)

Nach den Kundenwünschen werden Eigenschaften wie Farbe, Glanz, Reibfestigkeit, Handling, Flexibilität, Anhaftung, Reibung, Dehnbarkeit, Rissbildung, Lichtechtheit, Transpirationsfähigkeit, Wasserdurchlässigkeit und Wasserdampfaufnahme eingestellt. Hierbei kommen rein mechanische Prozesse und Prozesse zur Oberflächenbeschichtung zum Einsatz.

#### 2.1.3.25 Schleifen (Buffing)

Durch Schleifen der Lederoberfläche kann ein Egalisieren der Oberfläche oder eine Verminderung der Lederdicke erreicht werden. Auch kann eine feine weiche Oberfläche erzeugt werden, wie man Sie vom Nubukleder her kennt.

#### 2.1.3.26 Bürsten (Brushing)

Das Leder wird abgebürstet, um Schmutzreste vom Schleifen zu beseitigen.

## **2.2 Protokolle der Laborversuche zum enzymatischen und chemischen Weichen und Äschern**

Da die ausgewertete Fachliteratur keine ausreichenden Daten zur Bilanzierung der beiden beschriebenen Äschersysteme bereitstellte, wurden im Entwicklungslabor der Fa. Schill+Seilacher AG, Böblingen, Versuche im halbtechnischen Maßstab durchgeführt, um die notwendigen Daten für einen Verfahrensvergleich zu gewinnen.

Diese Versuche wurden in Anlehnung an die beiden Rezepturen APLF 2003 No. 1 (haarzerstörend) und Tanning Tech 2001 No. 1 (haarerhaltend) durchgeführt. Die verwendeten Produkte (Stoffströme) und die technischen Rahmenbedingungen sind in Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2 dargestellt. In Bezug auf die dargestellten Verfahrensführungen ist anzumerken, dass sich die Mengenangaben in Prozent in allen Fällen auf das Salzgewicht (Input) beziehen.

Tabelle 2-1: Versuchsprotokoll zum enzymatischen Weichen/Äschern (Schill+Seilacher, 2003a)

| Protokoll Nr.:                                                                               | 103A6                   | Datum: |                        |    |               |                |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------|------------------------|----|---------------|----------------|-----------------|
| Versuchs-Nr.:                                                                                | O gezeichnet oo         |        |                        |    |               | Fass:          |                 |
| Ausgangsmaterial: Rindhaut gesalzen                                                          |                         |        |                        |    |               |                |                 |
| Aufgabe/Artikel: Äscher - enzymatisches Weichen/Äschern                                      |                         |        |                        |    |               |                |                 |
| Bezugsgewicht: Salzgewicht 18,0 Kg                                                           |                         |        |                        |    |               |                |                 |
| Arbeitsgang                                                                                  | % des Salzge-<br>wichts | Menge  | Produkte               | °C | Lauf-<br>zeit | Tages-<br>zeit | pH/Bemerkungen  |
| Waschen +                                                                                    | 200                     |        | Wasser                 | 25 |               |                |                 |
| Vorweiche                                                                                    | 0,15                    |        | VINKOL MK              |    |               |                |                 |
|                                                                                              | 0,05                    |        | SILASTOL R687          |    | 60'           |                |                 |
| Flotte ab                                                                                    |                         |        |                        |    |               |                | Flottenprobe    |
|                                                                                              |                         |        | entfleischen           |    |               |                |                 |
| Weichgewicht 25,5 Kg Entfleischgewicht 17,6 Kg Leimfleisch 7,9 Kg                            |                         |        |                        |    |               |                |                 |
| Hauptweiche                                                                                  | 150                     |        | Wasser                 | 28 |               |                |                 |
|                                                                                              | 0,15                    |        | VINKOL MK              |    |               |                |                 |
|                                                                                              | 0,30                    |        | Soda                   |    | 90'           |                |                 |
|                                                                                              | 0,15                    |        | VINKOL A               |    | 90'           |                |                 |
| Flotte ab                                                                                    |                         |        |                        |    |               |                | Flottenprobe    |
| Äscher                                                                                       | 70                      |        | Wasser                 | 26 |               |                |                 |
|                                                                                              | 1,00                    |        | VINKOL TGV             |    |               |                |                 |
|                                                                                              | 1,50                    |        | Kalk                   |    | 60'           |                |                 |
|                                                                                              | 1,20                    |        | Schwefelnatrium        |    | 30'           |                |                 |
| Haare abfiltrieren, Flotte zurück ins Fass /Flottenmenge bestimmen 13 Kg Flotte Flottenprobe |                         |        |                        |    |               |                |                 |
| Haare separat mit 5-facher Menge 8,5 Kg Wasser gewaschen;                                    |                         |        |                        |    |               |                |                 |
| Gewicht Haare nass 1,71 Kg trocken 0,376 Kg                                                  |                         |        |                        |    |               |                |                 |
|                                                                                              | 0,10                    |        | Schwefelnatrium        |    |               |                |                 |
|                                                                                              | 2,00                    |        | Kalk                   |    |               |                |                 |
|                                                                                              | 0,10                    |        | SILASTOL R 687         |    | 30'           |                |                 |
|                                                                                              | 60                      |        | Wasser                 | 26 | 15'           |                | Automatik 10'/h |
| Flotte ab                                                                                    |                         |        |                        |    |               |                | Flottenprobe    |
| Nachäscher                                                                                   | 200                     |        | Wasser                 | 25 |               |                |                 |
|                                                                                              | 0,30                    |        | VINKOL LBA             |    | 10'           |                |                 |
| Flotte ab                                                                                    |                         |        |                        |    |               |                | Flottenprobe    |
|                                                                                              |                         |        | Entfleischen,          |    |               |                |                 |
|                                                                                              |                         |        | ausladen, entfleischen |    |               |                |                 |
| Äschergewicht 25,0 Kg Entfleischgewicht 19,2 Kg Leimfleisch 5,8 Kg                           |                         |        |                        |    |               |                |                 |
| Wasserbedarf 680 % = 122,4 Kg + 8,5 Kg Haarwäsche = 131,0 Kg                                 |                         |        |                        |    |               |                |                 |
| Leimfleisch zusammen 13,7 Kg                                                                 |                         |        |                        |    |               |                |                 |

Tabelle 2-2: Versuchsprotokoll zum chemisch-technischen Weichen/Äschern (Schill+Seilacher, 2003a)

| Protokoll Nr.:                                                            | 103A6              | Datum: |                        |    |          |           |                     |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------|------------------------|----|----------|-----------|---------------------|
| Versuchs-Nr.:                                                             | N gezeichnet o     | Fass:  |                        |    |          |           |                     |
| Ausgangsmaterial: Rindhaut gesalzen                                       |                    |        |                        |    |          |           |                     |
| Aufgabe/Artikel: <b>Äscher - chemisches Weichen/Äschern</b>               |                    |        |                        |    |          |           |                     |
| Bezugsgewicht: Salzgewicht 16,0 Kg                                        |                    |        |                        |    |          |           |                     |
| Arbeitsgang                                                               | % des Salzgewichts | Menge  | Produkte               | °C | Laufzeit | Tageszeit | pH/Bemerkungen      |
| Waschen                                                                   | 200                |        | Wasser                 | 25 | 30'      |           |                     |
| Flotte ab                                                                 |                    |        |                        |    |          |           | Flottenprobe        |
| Vorweiche                                                                 | 200                |        | Wasser                 | 28 |          |           |                     |
|                                                                           | 0,30               |        | VINKOL MK              |    |          |           |                     |
|                                                                           | 0,20               |        | Natriumkarbonat        |    | 120'     |           |                     |
| Flotte ab                                                                 |                    |        |                        |    |          |           | Flottenprobe        |
|                                                                           |                    |        | entfleischen           |    |          |           |                     |
| <b>Weichgewicht 26,0 Kg Entfleischgewicht 17,0 Kg Leimfleisch 9,0 Kg</b>  |                    |        |                        |    |          |           |                     |
| Hauptweiche                                                               | 100                |        | Wasser                 | 28 |          |           |                     |
|                                                                           | 0,10               |        | SILASTOL R687          |    |          |           |                     |
|                                                                           | 0,30               |        | Natriumkarbonat        |    | 90'      |           |                     |
|                                                                           |                    |        |                        |    |          |           | Flottenprobe        |
| Flotte ab auf                                                             | 30                 |        | Restflotte             | 28 |          |           |                     |
| Äscher                                                                    | 0,80               |        | Vinkol TGV             |    | 60'      |           |                     |
|                                                                           | 2,75               |        | Natriumsulfid          |    | 45'      |           |                     |
|                                                                           | 3,30               |        | Kalk                   |    | 45'      |           |                     |
|                                                                           | 50                 |        | Wasser                 | 28 | 10'      |           |                     |
|                                                                           | 50                 |        | Wasser                 | 28 | 10'      |           |                     |
|                                                                           | 50                 |        | Wasser                 | 28 | 10'      |           |                     |
|                                                                           | 50                 |        | Wasser                 | 28 | 10'      |           | ü.N.: 15 h a` 10'/h |
| Flotte ab                                                                 |                    |        |                        |    |          |           | Flottenprobe        |
| Nachäscher                                                                | 200                |        | Wasser                 | 25 |          |           |                     |
|                                                                           | 0,30               |        | VINKOL LBA             |    | 10'      |           |                     |
| Flotte ab                                                                 |                    |        |                        |    |          |           | Flottenprobe        |
|                                                                           |                    |        | ausladen, entfleischen |    |          |           |                     |
| <b>Äschergewicht 23,7 Kg Entfleischgewicht 18,5 Kg Leimfleisch 5,2 Kg</b> |                    |        |                        |    |          |           |                     |
| <b>Wasserbedarf 900% = 144 Kg Flotte</b>                                  |                    |        |                        |    |          |           |                     |
| <b>Leimfleisch zusammen 14,2 Kg</b>                                       |                    |        |                        |    |          |           |                     |

## **2.3 Graphische Darstellung der untersuchten Szenarien**



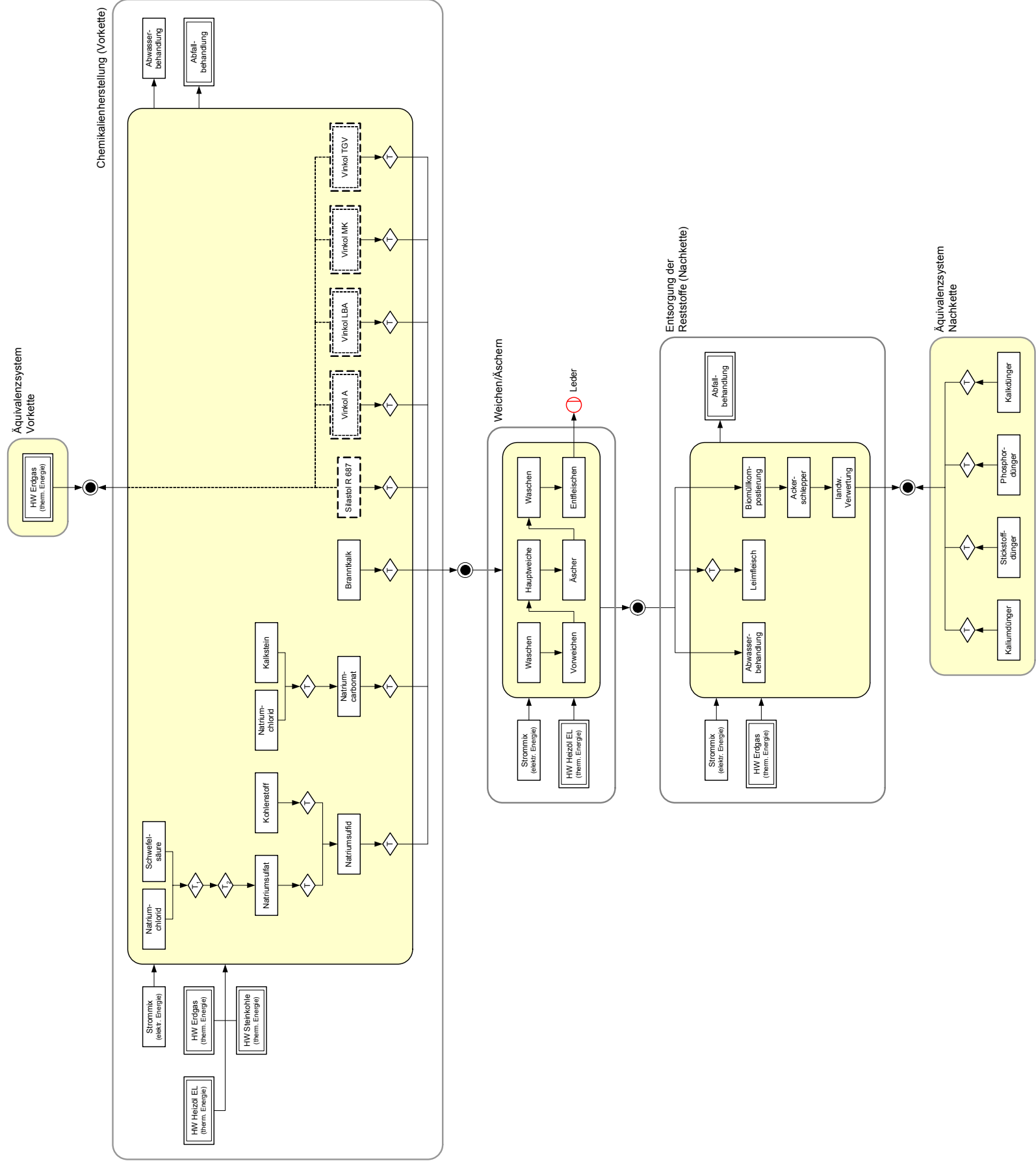


Abbildung 2-1: Szenario ENZYMATISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - vollständiges Bilanzierungsmodell



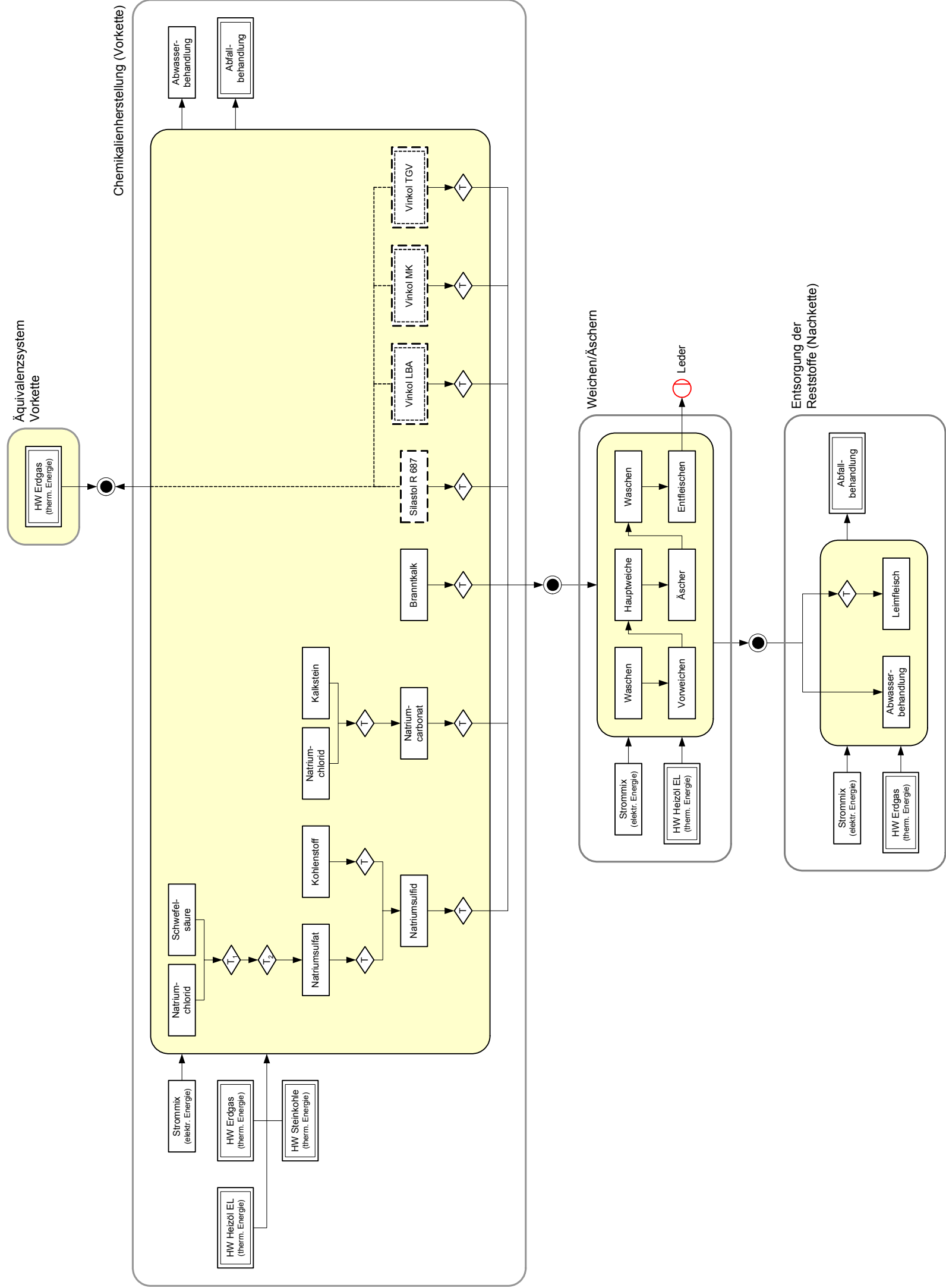


Abbildung 2-2: Szenario CHEMISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - vollständiges Bilanzierungsmodell



## 2.4 Datenherkunft und -qualität

Im Bericht (Modellspezifische Anmerkungen zur Systemgrenze) wurde der zeitliche und geographische Bezug der ökobilanziellen Betrachtung definiert, der mit den politischen Grenzen der Bundesrepublik Deutschland gleichgesetzt wurde. Es ist aber gleichzeitig darauf aufmerksam gemacht worden, dass erfahrungsgemäß ein Teil der für die Modellierung verwendeten Daten davon abweichen kann. Darüber hinaus wurde auch darauf hingewiesen, dass für verschiedene Prozesse Annahmen und Näherungen getroffen werden mussten, um Datenlücken und Unsicherheiten zu schließen.

Die unter diesen Randbedingungen aufgebauten Bilanzierungsmodelle sind im Bericht (Beschreibung der Bilanzierungsmodelle) in ihren Teilsystemen beschrieben sowie vollständig in Abbildung 2-1 und Abbildung 2-2 dargestellt.

In Tabelle 2-3 sind die Module der beiden Abbildungen und damit die für die Modellierung verwendeten Daten dokumentiert. Soweit entsprechende Informationen vorlagen, wurden die Daten bezüglich Datenherkunft, Literaturquellen, Bezugsjahr und Repräsentativität charakterisiert. Darüber hinaus beinhaltet die Tabelle Kurzbeschreibungen der Prozesse, der Annahmen, berücksichtigte Vorketten bzw. integrierte Module sowie Transporte soweit dies nicht durch Vertraulichkeitsvereinbarungen eingeschränkt wird.

Ausführliche Modulbeschreibungen können in den angegebenen Literaturquellen nachgelesen werden.

Tabelle 2-3: Dokumentation der Herkunft und Qualität der zur Bilanzierung verwendeten Daten

| Modul                                     | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                           | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Teilsysteme Chemikalienherstellung</i> |                                                                                                             |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Brannnkalk                                | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997)                              |                                                 | Das Modul beschreibt die Herstellung von Brannnkalk aus Kalzi-umcarbonat. Dies umfasst den Abbau, das Mahlen und Brennen des Gesteins (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport: vgl. Tabelle 2-4</i>                                                                                                                               |
| Kalkstein                                 | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Habsatter et al. (1998)<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                               | Das Modul beschreibt den Abbau von Kalkstein im Tagebau so-wie die anschließende Aufbereitung durch Mahlen des Gesteins (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport: vgl. Tabelle 2-5</i>                                                                                                                                             |
| Kohlenstoff                               | Keine Daten verfügbar                                                                                       |                                                 | Durch ein Modul zur Bereitstellung von Steinkohle angenähert.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 2-4</i>                                                                                                                                                                                                                           |
| Natriumcarbonat                           | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)                              | 1999, Durchschnitt<br>europäischer Anla-<br>gen | Das Modul enthält Sachbilanzdaten aus finnischen und deut-schen Literaturquellen, die anscheinend auf state-of-the-art Pro-duktionsanlagen verweisen (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Natriumchlorid, Kalkstein, elektrische und thermische Energie (Steinkohle)<br><i>Transport: vgl. Tabelle 2-4</i> |

<sup>4</sup> Die Kurzbeschreibungen fallen unterschiedlich ausführlich aus, was auf die mehr oder weniger detaillierte Dokumentation der Daten und Module in den Daten-banken und Bibliotheken zurückzuführen ist.

<sup>5</sup> Wenn keine Vorketten angegeben sind, handelt es sich meist um einen aggregierten Datensatz, d.h. die Herstellung von Ausgangsstoffen, die Energiebereit-stellung oder Transporte sind in das Modul integriert.

<sup>6</sup> Ist kein Transport angegeben, wird das Material von vornherein nicht transportiert (z.B. Energien) oder es ist nicht eindeutig geklärt, ob das Material transpor-tiert wird oder nicht, so dass keine Annahme getroffen werden kann.

| Modul          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Natriumchlorid | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1994)            | 1989-90, Westeuropa              | Das Modul beschreibt die Steinsalzförderung (Soleförderung) im klassischen Bergbau, wobei Wasser in das Salzgestein geleitet und die Sole abgepumpt wird (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 2-5 und Tabelle 2-6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Natriumsulfid  | - Römpf (1991)                                                                 |                                  | Für den Herstellungsprozess konnten keine ausreichenden Sachbilanzdaten recherchiert werden. Die Mengen der Ausgangsstoffe und des Nebenproduktes wurden deshalb aus der Stöchiometrie der Reaktionsgleichung für die Herstellung von Natriumsulfid aus Natriumsulfat und Kohlenstoff abgeleitet.<br>$\text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{C} \rightarrow \text{Na}_2\text{S} + 2\text{CO}_2$ Weitere Stoffeinträge, der Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte mussten unberücksichtigt bleiben.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Natriumsulfat, Kohlenstoff<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 2-4 |
| Natriumsulfat  | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003) | 2000, Literaturdaten             | Das Modul beschreibt die Herstellung von Natriumsulfat im Mannheim Verfahren (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Natriumchlorid, Schwefelsäure, elektrische und thermische Energie (Erdgas und Erdöl)<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 2-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Silastol R 687 | Vertrauliche Angaben über die Zusammensetzung<br>- Schill+Seilacher (2003)     | 2003, Deutschland                | Es konnte auf ein Modul aus der Umberto-Bibliothek zurückgegriffen werden.<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 2-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Schwefelsäure  | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beinhaltet einen Mix der in Deutschland verwendeten Herstellungsprozesse entsprechend ihres Anteils an der Gesamtproduktion (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 2-5 und Tabelle 2-6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

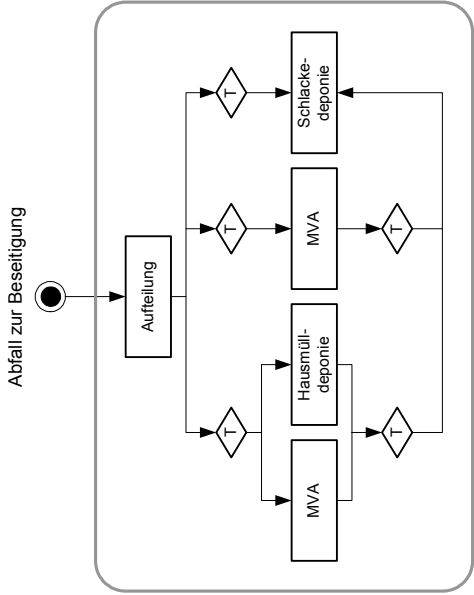
| Modul      | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Steinkohle | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Frischknecht et al. (1996)<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre, Deutschland | Das Modul beschreibt den Abbau, die Förderung von heimischer Steinkohle sowie den Transport bis zur inländischen Verwendung in der Industrie oder im Kraftwerk. Der Abbau der deutschen Steinkohle erfolgt ausschließlich im Untertagebau (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Vinkol A   | Vertrauliche Angaben über die Zusammensetzung<br>- Schill+Seilacher (2003)                                 | 2003, Deutschland                | Neben vertraulichen Angaben über die Zusammensetzung konnten keine weiteren Sachbilanzdaten zum Herstellungsprozess reherchiert werden. D.h., über die Mengen der Ausgangsstoffe hinaus mussten im Subnetz weitere Stoffeinträge, der Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte unberücksichtigt bleiben.<br><br><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde für die Ausgangsstoffe näherungsweise auf Datensätze aus der Ecoinvent- und GEMIS-Datenbank bzw. auf Module aus der Umberto-Bibliothek zurückgegriffen.<br><br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 2-4                                                                                                                                                                                                                            |
| Vinkol LBA | Vertrauliche Angaben über die Zusammensetzung<br>- Schill+Seilacher (2003)                                 | 2003, Deutschland                | Neben vertraulichen Angaben über die Zusammensetzung konnten keine weiteren Sachbilanzdaten zum Herstellungsprozess reherchiert werden. D.h., über die Mengen der Ausgangsstoffe hinaus mussten im Subnetz weitere Stoffeinträge, der Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte unberücksichtigt bleiben.<br><br><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde für einen Teil der Ausgangsstoffe näherungsweise auf Datensätze aus der Ecoinvent- und GEMIS-Datenbank bzw. auf Module aus der Umberto-Bibliothek zurückgegriffen. Da das nicht für alle Ausgangsstoffe möglich war, beinhaltet das Subnetz auch ein Modul ohne Eintrag, wodurch dieser Ausgangsstoff nur mit Aufwendungen und Emissionen des Transportes in das Ergebnis eingeht.<br><br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 2-4 |

| Modul      | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vinkol MK  | Vertrauliche Angaben über die Zusammensetzung<br>- Schill+Seilacher (2003) | 2003, Deutschland                | <p>Neben vertraulichen Angaben über die Zusammensetzung konnten keine weiteren Sachbilanzdaten zum Herstellungsprozess recherchiert werden. D.h., über die Mengen der Ausgangsstoffe hinaus mussten im Subnetz weitere Stoffeinträge, der Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte unberücksichtigt bleiben.</p> <p><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde für einen Teil der Ausgangsstoffe näherungsweise auf Datensätze aus der Ecoinvent- und GEMIS-Datenbank bzw. auf Module aus der Umberto-Bibliothek zurückgegriffen. Da das nicht für alle Ausgangsstoffe möglich war, beinhaltet das Subnetz auch ein Modul ohne Eintrag, wodurch dieser Ausgangsstoff nur mit Aufwendungen und Emissionen des Transportes in das Ergebnis eingeht.</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 2-4</p>                                    |
| Vinkol TGV | Vertrauliche Angaben über die Zusammensetzung<br>- Schill+Seilacher (2003) | 2003, Deutschland                | <p>Neben vertraulichen Angaben über die Zusammensetzung konnten keine weiteren Sachbilanzdaten zum Herstellungsprozess recherchiert werden. D.h., über die Mengen der Ausgangsstoffe hinaus mussten im Subnetz weitere Stoffeinträge, der Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte unberücksichtigt bleiben.</p> <p><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde für einen Teil der Ausgangsstoffe näherungsweise auf Datensätze aus der Ecoinvent- und GEMIS-Datenbank bzw. auf Module aus der Umberto-Bibliothek zurückgegriffen. Da das nicht für alle Ausgangsstoffe möglich war, beinhaltet das Subnetz auch einige Module ohne Eintrag, wodurch diese Ausgangsstoffe nur mit Aufwendungen und Emissionen des Transportes in das Ergebnis eingehen.</p> <p><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 2-4, Tabelle 2-5 und Tabelle 2-6</p> |

| Modul                                        | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                        |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Teilsysteme Weichen/Äschern</i>           |                                                                                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                     |
| Waschen                                      | - Schill+Seilacher (2003a)                                                                       | 2004, Laborversuche              | Das Modul beinhaltet Prozessdaten aus Versuchen im halbtchnischen Maßstab der Fa. Schill+Seilacher AG.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Weichen/Äschern                                              |
| Vorweichen                                   | - Schill+Seilacher (2003a)                                                                       | 2004, Laborversuche              | Das Modul beinhaltet Prozessdaten aus Versuchen im halbtchnischen Maßstab der Fa. Schill+Seilacher AG.                                                                                                              |
| Hauptweiche                                  | - Schill+Seilacher (2003a)                                                                       | 2004, Laborversuche              | Das Modul beinhaltet Prozessdaten aus Versuchen im halbtchnischen Maßstab der Fa. Schill+Seilacher AG.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Weichen/Äschern                                              |
| Äscher                                       | - Schill+Seilacher (2003a)                                                                       | 2004, Laborversuche              | Das Modul beinhaltet Prozessdaten aus Versuchen im halbtchnischen Maßstab der Fa. Schill+Seilacher AG.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Weichen/Äschern, elektrische und thermische Energie (Erdgas) |
| Waschen                                      | - Schill+Seilacher (2003a)                                                                       | 2004, Laborversuche              | Das Modul beinhaltet Prozessdaten aus Versuchen im halbtchnischen Maßstab der Fa. Schill+Seilacher AG.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Weichen/Äschern                                              |
| Entfleischen                                 | - Schill+Seilacher (2003a)                                                                       | 2004, Laborversuche              | Das Modul beinhaltet Prozessdaten aus Versuchen im halbtchnischen Maßstab der Fa. Schill+Seilacher AG.                                                                                                              |
| <i>Teilsysteme Entsorgung der Reststoffe</i> |                                                                                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                     |
| Abwasserbehandlung                           |                                                                                                  |                                  | Das Modul ist weiter unten beschrieben.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Weichen/Äschern, elektrische und thermische Energie (Erdgas)                                                                |
| Ackerschlepper                               | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Borken et al. (1999)<br>- Kaltschmitt (1997) | 1995, europäischer Durchschnitt  | Das Modul beinhaltet die mit der Arbeit eines Ackerschleppers verbundenen Energieverbräuche und Emissionen (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Landw. Verwertung                               |

| Modul                    | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Landw. Verwertung        | Modul basierend auf<br>- Bayrle et al. (2002)                                  | aktuell, Deutschland             | Das Modul beschreibt die mit dem Ausbringen von Kompost auf ein Feld verbundenen Emissionen. Mineralische Düngemittel, die durch den Nährstoffgehalt im Gärreststoff substituiert werden, werden dem System als Gutschrift angerechnet.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Biomüllkompostierung |
| Leimfleisch              | - Lang (2004)                                                                  |                                  | Das Modul beschreibt eine Fettschmelze in der Fleischverarbeitung.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Weichen/Äschern, elektrische und thermische Energie (Erdgas)<br><i>Transport:</i> Tabelle 2-4                                                                                  |
| Biomüllkompostierung     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- ifeu (1995)                |                                  | Das Modul beschreibt eine Kompostierungsanlage, bei der Biomüll in Containern oder Boxen kompostiert wird. Das Produkt ist ein Kompost mit 60 % TS und dem einem Rottegrad von 4 bis 5.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Weichen/Äschern                                           |
| <b>Äquivalenzsysteme</b> |                                                                                |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| HW Erdgas                |                                                                                |                                  | Das Modul ist weiter unten beschrieben.                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Kalkdünger (als CaO)     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993/94, Deutschland             | Das Modul beschreibt die Herstellung von Kalkdünger als Mischung von 85% Kalkstein und 15% Branntkalk (ifu und ifeu, 2002).<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 2-4                                                                                                                                 |
| Kaliumdünger             | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beschreibt die Herstellung von Kaliumdünger durch Abbau und Aufbereitung kaliumsalzhaltiger Gesteine (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 2-4                                                                                                                          |

| Modul                                             | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Phosphordünger                                    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beschreibt die Gewinnung von Phosphatdünger im Wesentlichen aus Rohphosphaten und in geringem Maße als Nebenprodukt bei der Eisenverhüttung aus phosphathaltigem Erz (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport: vgl. Tabelle 2-4</i>                                                                                                             |
| Stickstoffdünger                                  | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beschreibt die Herstellung synthetischer Düngemittel deren nährstoffhaltige Verbindungen in Deutschland im Wesentlichen auf Ammonium, Nitrat und Harnstoff beschränkt sind (ifu & ifeu, 2002)<br><i>Transport: vgl. Tabelle 2-4</i>                                                                                                        |
| <b>Basismodule Abfall- und Abwasserbehandlung</b> |                                                                                |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Abwasserbehandlung                                | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- ifeu (1994)                | 1994, Deutschland                | Das Modul beschreibt eine Kläranlage mit weitergehende Reinigung inklusive der Vorketten auf Basis der durchschnittlichen Reinigungseffizienz kommunaler biologischer Anlagen (ifu & ifeu, 2002). Die Abwasserbehandlung wird dabei durch die Abwassermenge sowie den Ammoniumgehalt, AOX, BSB <sub>5</sub> , CSB und Phosphorgehalt parametrisiert. |

| Modul            | Datenherkunft<br>Literaturquellen | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abfallbehandlung |                                   |                                  | <p>Das Subnetz beschreibt den Umgang mit Abfällen zur Beseitigung, die nicht unter das Abschneidekriterium fallen. Die Aufteilung dieser Abfälle wurde wie folgt vorgenommen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- haushälterische Abfälle in den Beseitigungsmix Deutschland (bestehend aus MVA und Hausmülldeponie)</li> <li>- Abfälle zur Verbrennung in eine Müllverbrennungsanlage</li> <li>- Schlacken, Aschen, Inertstoffe in eine Schlackedeponie</li> </ul>  <pre> graph TD     Start((Abfall zur Beseitigung)) --&gt; Aufteilung[Aufteilung]     Aufteilung --&gt; T1{ }     Aufteilung --&gt; T2{ }     Aufteilung --&gt; T3{ }     T1 --&gt; MVA1[MVA]     T1 --&gt; Hausmüll[Hausmülldeponie]     T2 --&gt; T2a{ }     T2a --&gt; MVA2[MVA]     T2a --&gt; Schlacke[Schlackedeponie]     T3 --&gt; Schlacke   </pre> <p><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Beseitigungsmix, Müllverbrennungsanlage, Schlackedeponie<br/> <i>Transport:</i> vgl. Tabelle 2-4</p> |

| Modul                          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                                                  | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität    | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beseitigungsmix<br>Deutschland | Subnetz basierend auf dem<br>Bilanzierungsmodellen aus<br>- Würdinger et al. (2002)<br>- Hottenroth et al. (2004)                                                                                                                                  | Anfang 00iger Jahre,<br>Deutschland | <p>Im Beseitigungsmix Deutschland werden die Abfälle entsprechend der Situation in Deutschland zu 38 % in einer Müllverbrennungsanlage thermisch behandelt und zu 62 % unbehandelt deponiert. Von den deponierten Abfällen werden zwischen 3 % und 4 % zuvor mechanisch-biologisch behandelt. Da derzeit aber keine verlässlichen Daten zu den Umweltauswirkungen der MBA vorliegen, wird angenommen, dass dieser (geringe) Anteil Abfall auch direkt deponiert wird.</p> <p><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Hausmülldeponie, Müllverbrennungsanlage</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 2-4</p>         |
| Hausmülldeponie                | Subnetz aus der Umberto-<br>Bibliothek basierend auf<br>- Eggels und van der Ven<br>(1995)<br>- Ehrig (1997)<br>- Habersatter et al. (1998)<br>- Rettenberger (1997)<br>- Rettenberger und Stegmann (1997)<br>- Schuhmann (1997)<br>- Weber (1990) | 90iger Jahre,<br>Deutschland        | <p>Das Subnetz beschreibt die Emissionen und den Betriebsmittelverbrauch bei der Ablagerung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfällen in einer Deponie mit den beiden Hauptemissionspfaden Sickerwasser und Deponiegas. Sowohl das Sickerwasser als auch das Deponiegas werden unterschiedlichen Entsorgung- und Behandlungswegen bis hin zur Klärschlamm-trocknung und -verbrennung bzw. zur Verbrennung oder Verstromung des Deponiegases unterzogen (ifu und ifeu, 2002). Die erzeugte Energie wird als Gutschrift ausgewiesen und entsprechend verrechnet.</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 2-4</p> |

| Modul                                  | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Müllverbrennungs-<br>anlage            | <p>Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auksutat und Löffler (1998)</li> <li>- Achernbosch und Richers (1997)</li> <li>- Achernbosch und Richers (1998)</li> <li>- ifeu (2002)</li> <li>- Schäfl (1995)</li> <li>- Thome-Kozmiensky (1995)</li> <li>- UBA (1999)</li> </ul>                                                                                                                                           | Mitte 90iger Jahre, Deutschland  | <p>Das Modul beschreibt die Verbrennung von Hausmüll bzw. von hausmüllähnlichen Abfällen in einer Müllverbrennungsanlage neuerer Bauart vom Typ der Rostfeuerung mit hohem Standard der Abgasreinigung. Der elektrische Nutzungsgrad der Anlage ist mit 10 % und der thermische Nutzungsgrad mit 30 % definiert (ifu und ifeu, 2002). Die erzeugte Energie wird als Gutschrift ausgewiesen und entsprechend verrechnet.</p> <p><i>Transport: vgl. Tabelle 2-4</i></p> |
| Schlackedeponie<br>(Inertstoffdeponie) | <p>Subnetz aus der Umberto-Bibliothek basierend auf</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BfU (1998)</li> <li>- Ehrig (1997)</li> <li>- Förstner et al. (1997)</li> <li>- Habersatter et al. (1998)</li> <li>- Hirschmann und Förstner (1997)</li> <li>- Kersten et al. (1995)</li> <li>- Regener et al. (1997)</li> <li>- Rettenberger und Stegmann (1997)</li> <li>- Simon (1995)</li> <li>- Turk (1997)</li> <li>- UBA (unveröffentlichte Mitteilungen)</li> </ul> | 1997, Deutschland                | <p>Das Subnetz beschreibt die Emissionen und den Betriebsmittelverbrauch bei der Ablagerung von Aschen und Schlacken auf einer Schlackedeponie mit den beiden Hauptemissionspfaden Sickerwasser und Deponiegas. Eine energetische Verwertung des Sickerwassers und des Deponiegases, wie bei der Hausmülldeponie, ist nicht implementiert (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> <p><i>Transport: vgl. Tabelle 2-4</i></p>                                                       |

| Modul                                                 | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Basismodule Energieträger und Energieerzeugung</i> |                                                                            |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                  |
| HW Erdgas                                             | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in Erdgasheizkesseln mit Leistungen von 1 bis 10 MW(th). Die Kessel stellen durchschnittliche Industriekessel zur Bereitstellung von Prozess- und Fernwärme dar (ifu & ifeu, 2002). |
| HW Heizöl EL                                          | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt ein Heizwerk für leichtes Heizöl mit Gebläsebrenner mit einer Leistung von 1 MW (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                         |
| HW Steinkohle                                         | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in einem Steinkohle-Heizwerk mit einer Leistung von 50 MW(th) (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                   |

| Modul                | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                               | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                         | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|------------|----|------------|------|-----|-----|----------|------|-----------|------|--------|------|------|------|-------------------|------|
| Strommix Deutschland | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- BMWi (2000)<br>- Frischknecht et al. (1996) | Ende 90iger Jahre, Deutschland (AKW Anfang 90iger Jahre) | <p>Das Modul beschreibt die mittleren Verhältnisse der öffentlichen Stromerzeugung in Deutschland. Der zugrunde liegende Energiemix aus dem Jahr 1998 ist in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.</p> <table><tr><th>Ressource</th><th>Beitrag zur Stromerzeugung [%]</th></tr><tr><td>Steinkohle</td><td>27</td></tr><tr><td>Braunkohle</td><td>27,3</td></tr><tr><td>Gas</td><td>7,6</td></tr><tr><td>Heizöl S</td><td>0,47</td></tr><tr><td>Kernkraft</td><td>32,5</td></tr><tr><td>Wasser</td><td>3,86</td></tr><tr><td>Wind</td><td>0,34</td></tr><tr><td>Abfallverbrennung</td><td>0,93</td></tr></table> <p>Beim Transport von den Kraftwerken zum Verbraucher erfährt der Strom Umspannungs- und Leitungsverluste, deren Höhe vom Spannungsniveau des nachgefragten Stromes abhängt. Als mittlerer Netzmix wurde folgende Verteilung angenommen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Hochspannung: 20 %</li><li>- Mittelspannung: 30 %</li><li>- Niederspannung: 50 %</li></ul> <p>Das Modul umfasst die Kraftwerksprozesse zur Stromerzeugung mit Stein- und Braunkohle, Erd-, Koks- und Hochofengas und Kern-, Wasser- und Windkraft sowie die zugehörigen Brennstoffvorketten für Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Kokerei- und Hochofengas und Brennelemente als auch die Deponierung oder Verbrennung von Abfällen (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> | Ressource | Beitrag zur Stromerzeugung [%] | Steinkohle | 27 | Braunkohle | 27,3 | Gas | 7,6 | Heizöl S | 0,47 | Kernkraft | 32,5 | Wasser | 3,86 | Wind | 0,34 | Abfallverbrennung | 0,93 |
| Ressource            | Beitrag zur Stromerzeugung [%]                                                                  |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Steinkohle           | 27                                                                                              |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Braunkohle           | 27,3                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Gas                  | 7,6                                                                                             |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Heizöl S             | 0,47                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Kernkraft            | 32,5                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Wasser               | 3,86                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Wind                 | 0,34                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Abfallverbrennung    | 0,93                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |

| Modul                            | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                        | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität              | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Basismodule Energieträger</i> |                                                                                                                                                                                                                          |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Bereitstellung Erdgas            | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf <ul style="list-style-type: none"> <li>- BMWi (2000)</li> <li>- Fritsche et al. (2001)</li> <li>- Frischknecht et al. (1996)</li> <li>- Kohlewirtschaft (2000)</li> </ul> | Anfang 90iger Jahre, Durchschnitt Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung und Aufbereitung von durchschnittlichem in Deutschland eingesetztem Erdgas. Der Durchschnitt setzt sich aus einem Split (bezogen auf den Heizwert) wie folgt zusammen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deutschland: 21 %</li> <li>- ehem. GUS: 36 %</li> <li>- Niederlande: 22 %</li> <li>- Norwegen: 21 %</li> </ul> Der Transport des Erdgases erfolgt bis an das Kraftwerk bzw. den Industriebetrieb (ifu & ifeu, 2002).       |
| Bereitstellung Heizöl leicht     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fritsche et al. (2001)</li> <li>- Frischknecht et al. (1996)</li> </ul>                                                          | Anfang 90iger Jahre, Durchschnitt Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung, den Transport und die Refination des in Deutschland verwendeten Heizöls EL. Heizöl EL wird aus importiertem Erdöl in heimischen Raffinerien hergestellt. Die Herkunft wird nach den Herstellern D, EU, ehem. GUS und OPEC unterschieden. Im Anschluss an die Raffinerie wird das erzeugte Heizöl EL über nationale bzw. regionale Verteilungsstrukturen mittels Bahn zum Kraftwerk oder dem Industriebetrieb gebracht (ifu & ifeu, 2002). |

| Modul                          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bereitstellung<br>Steinkohle   | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Kohlewirtschaft (2000)                                 | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt den Abbau, die Förderung und den Transport von in Deutschland verwendeter Steinkohle. Der Datensatz stellt einen Mischdatensatz aus den verschiedenen Import-Steinkohlen nach Kohlewirtschaft (2000) dar. Insgesamt werden ca. 1/3 der in Deutschland verwendeten Steinkohle importiert. Die restlichen 2/3 stammen aus deutscher Förderung. Der Steinkohlensplit setzt sich wie folgt zusammen (ifu & ifeu, 2002):<br>- BRD 62,1 %<br>- Polen (u. Osteuropa): 12,5 %<br>- Südafrika: 10,2 %<br>- Kolumbien/Kanada/USA: 7,8 %<br>- Australien: 4,1 %<br>- Niederlande (u. sonst. Westeuropa): 3,3 %. |
| <b>Basismodule Hilfsstoffe</b> |                                                                                                            |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Diesel                         | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001)<br>- Frischknecht et al. (1996) | Anfang 90iger Jahre,<br>Deutschland                 | Das Modul beschreibt die Förderung, den Transport und die Raffination des in Deutschland verwendeten Diesels. Diesel wird aus importiertem Erdöl in heimischen Raffinerien hergestellt. Die Herkunft wird nach den Herstellern D, EU, GUS und OPEC unterschieden. Im Anschluss an die Raffinerie wird das Diesel über nationale bzw. regionale Verteilungsstrukturen mittels Tankfahrzeugen zur Tankstelle gebracht (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                   |
| <b>Basismodule Transporte</b>  |                                                                                                            |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Bahn                           | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Borken et al. (1999)                                                 | 1996, Deutschland                                   | Das Modul beschreibt den Güterbahntransport der Deutschen Bundesbahn inklusive der Bereitstellung der notwendigen Sekundärenergien Diesel und Strom. Die Spezifikation des Transports wird über die Transportentfernung oder die Transportleistung sowie über die Zuggattung (Ganzzug, kombinierter Ladungsverkehr, Einzelwagenzug) vorgenommen (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                                                                       |

| Modul           | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>4</sup> , Annahmen <sup>5</sup> , Vorketten, Transporte <sup>6</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------|-------------------|-------|---------------|--------|------------|-------------|--------|------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|-----------------|--------|------|-----------------|---|--------|
| Lkw             | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Borken et al. (1998)<br>- Knörr et al. (1998)<br>- Schmidt et al. (1998) | 1996, Deutschland                | <p>Das Modul beschreibt den Lkw-Transport von Gütern inklusive der Bereitstellung des notwendigen Kraftstoffes. Zur Spezifikation können als Parameter die Transportentfernung oder Transportleistung, der Auslastungsgrad der Hin- und Rückfahrt, der Fahrzeugtyp und die Fahrleistungsanteile auf Autobahn, Landstraßen und Innerortsstraßen definiert werden (ifu &amp; ifeu, 2002). In der nachfolgenden Tabelle sind die zur Verfügung stehenden Lkw-Fahrzeugklassen zusammengefasst.</p> <table><tr><th></th><th>Zulässiges Gesamtgewicht</th><th>Maximale Nutzlast</th></tr><tr><td>1 LKW</td><td>3,5 bis 7,5 t</td><td>3,75 t</td></tr><tr><td>2 Solo Lkw</td><td>14 bis 20 t</td><td>10,5 t</td></tr><tr><td>3 Solo Lkw</td><td>&gt; 20 t</td><td>15,3 t</td></tr><tr><td>4 Lkw/Sattelzug</td><td>&lt; 32 t</td><td>20,5 t</td></tr><tr><td>5 Lkw/Sattelzug</td><td>&gt; 32 t</td><td>28 t</td></tr><tr><td>6 Mittlerer Lkw</td><td>-</td><td>17,5 t</td></tr></table> |  | Zulässiges Gesamtgewicht | Maximale Nutzlast | 1 LKW | 3,5 bis 7,5 t | 3,75 t | 2 Solo Lkw | 14 bis 20 t | 10,5 t | 3 Solo Lkw | > 20 t | 15,3 t | 4 Lkw/Sattelzug | < 32 t | 20,5 t | 5 Lkw/Sattelzug | > 32 t | 28 t | 6 Mittlerer Lkw | - | 17,5 t |
|                 | Zulässiges Gesamtgewicht                                                                                       | Maximale Nutzlast                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 1 LKW           | 3,5 bis 7,5 t                                                                                                  | 3,75 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 2 Solo Lkw      | 14 bis 20 t                                                                                                    | 10,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 3 Solo Lkw      | > 20 t                                                                                                         | 15,3 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 4 Lkw/Sattelzug | < 32 t                                                                                                         | 20,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 5 Lkw/Sattelzug | > 32 t                                                                                                         | 28 t                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 6 Mittlerer Lkw | -                                                                                                              | 17,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |

## 2.5 Überblick Transporte

Tabelle

2-4

bis

Tabelle 2-6 fassen die modellierten Transporte zusammen. Neben dem Transportmittel Lkw oder Bahn unterscheiden sich die verwendeten Datensätze auch in der Definition der zurückzulegenden Strecke. Zum einen war die tatsächliche Transportentfernung anzugeben, zum anderen wurde die Strecke aus der Angabe der Transportleistung in Tonnenkilometer (tkm) errechnet. Eine Beschreibung der Transportmodule befindet sich in Tabelle 2-3.

Tabelle 2-4: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportentfernung

| Transport                                                         | Entfernung<br>[km] | Auslastung [%] |                | Nutzlast<br>[t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                   |                    | Hinfahrt       | Rück-<br>fahrt |                 | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| Abfall zur Hausmülldeponie                                        | 25                 | 50             | 50             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Abfall zur Müllverbrennungsanlage                                 | 25                 | 50             | 50             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Abfall zur Schlackedeponie (Inertstoffdeponie)                    | 25                 | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Brantkalk vom Hersteller zur Gerberei                             | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Kalium-Dünger vom Hersteller zum Verbraucher (Äquivalenzsystem)   | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Kalkdünger vom Hersteller zum Verbraucher (Äquivalenzsystem)      | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Kohlenstoff vom Steinkohleabbau zur Natriumsulfid-Herstellung     | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Leimfleisch von der Gerberei zur Verwertung                       | 100                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natriumcarbonat vom Hersteller zur Gerberei                       | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natriumsulfat vom Hersteller zur Natriumsulfid-Herstellung        | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natriumsulfid vom Hersteller zur Gerberei                         | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Phosphor-Dünger vom Hersteller zum Verbraucher (Äquivalenzsystem) | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Rohstoffe von den Herstellern zur Vinkol A-Herstellung            | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Rohstoffe von den Herstellern zur Vinkol LBA-Herstellung          | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |

| Transport                                                           | Entfernung<br>[km] | Auslastung [%] |                | Nutzlast<br>[t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                     |                    | Hinfahrt       | Rück-<br>fahrt |                 | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| Rohstoffe von den Herstellern zur Vinkol MK-Herstellung             | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Rohstoffe von den Herstellern zur Vinkol TVG-Herstellung (1)        | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Silastol R687 vom Hersteller zur Gerberei                           | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Stickstoff-Dünger vom Hersteller zum Verbraucher (Äquivalenzsystem) | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Vinkol A vom Hersteller zur Gerberei                                | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Vinkol LBA vom Hersteller zur Gerberei                              | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Vinkol MK vom Hersteller zur Gerberei                               | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Vinkol TGV vom Hersteller zur Gerberei                              | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |

Tabelle 2-5: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportleistung

| Transport                                                                             | Transport-<br>leistung<br>[tkm] | Auslastung [%] |                | Nutzlast<br>[t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                                       |                                 | Hinfahrt       | Rück-<br>fahrt |                 | Auto-<br>bahn       | Landstra-<br>sse | Innerorts |
| Rohstoffe von den Herstellern zur Vinkol TVG- Herstellung (2)                         | 0,142                           | 60             | 40             | 4               | 61                  | 26               | 13        |
| Natriumchlorid und Schwefelsäure von den Herstellern zur Natriumsulfatherstellung (1) | 0,12                            | 70             | 40             | 5               | 71                  | 13               | 8         |
| Natriumchlorid und Kalkstein von den Herstellern zur Natrium-carbonatherstellung      | 0,0505                          | 60             | 40             | 5               | 71                  | 13               | 8         |

Tabelle 2-6: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportleistung

| Transport                                                                             | Transportleistung<br>[tkm] | Traktionsart | Zuggattung       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------|------------------|
| Rohstoffe von den Herstellern zur Vinkol TVG- Herstellung (3)                         | 0,852                      | Diesel       | Einzelwagenanzug |
| Natriumchlorid und Schwefelsäure von den Herstellern zur Natriumsulfatherstellung (2) | 0,721                      | Diesel       | Einzelwagenanzug |

## 2.6 Stoff- und Energiebilanzen (Sachbilanz)

Tabelle 2-7: Szenario ENZYMATISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme)

| Input                                            |                         | Output                               |             |
|--------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------|
| Abfälle                                          |                         | Abfälle                              |             |
| Abfälle zur Verwertung                           |                         | Abfälle zur Beseitigung              |             |
| Abfallsäure, FeCl <sub>2</sub>                   | 2,61E+00 kg             | Abfälle aus chem. Industrie, inert   | 6,63E-02 kg |
| Eisenschrott                                     | 2,16E-01 kg             | Abfälle aus REA                      | 5,30E-02 kg |
| Metalle                                          |                         | Abfälle, eisenhaltig                 | 5,15E-02 kg |
| Schrott (Eisen)                                  | 1,21E-01 kg             | Abfälle, hausmüllähnlich             | 2,44E-02 kg |
| Schrott (NE)                                     | 9,71E-06 kg             | Abfälle, unspezifiziert              | 1,68E+00 kg |
| Chemische Grundstoffe                            |                         | Abraum                               | 9,15E+02 kg |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                        |                         | Altöl                                | 1,34E-06 kg |
| Natriumhydroxid                                  | 5,92E-03 kg             | Aschen u. Schlacken                  | 1,12E+00 kg |
| Schwefelsäure                                    | 2,36E-05 kg             | Eisenhydroxidschlamm                 | 2,50E-02 kg |
| Energieträger, sekundär                          |                         | Klärschlamm                          | 3,09E-02 kg |
| Brennstoffe, fest/flüssig                        |                         | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 5,74E-06 m3 |
| Biomasse (kg)                                    | 2,15E-05 kg             | Sonderabfall                         | 9,09E-04 kg |
| Energie, elektrisch                              | 4,28E+04 kJ             | Abfälle zur Verwertung               |             |
| Kumulierter Energieaufwand                       |                         | Altöl                                | 6,30E-01 kg |
| KEA (Kernenergie)                                | 1,07E+06 kJ             | Aschen u. Schlacken                  | 1,08E-01 kg |
| KEA (Wasserkraft)                                | 1,97E+04 kJ             | Filterstaub                          | 5,08E-01 kg |
| KEA, fossil gesamt                               | 7,92E+06 kJ             | Gichtgasschlamm                      | 2,91E-03 kg |
| KEA, regenerativ                                 | 3,02E+03 kJ             | Gichtgasstaub                        | 1,50E-02 kg |
| KEA, sonst. regenerative                         | 2,74E+04 kJ             | Gips (REA)                           | 1,89E+00 kg |
| KEA, sonstige                                    | 5,36E+03 kJ             | Grobasche                            | 7,60E-02 kg |
| KEA, un spez.                                    | 4,57E+03 kJ             | Hochofenschlacke                     | 2,16E-01 kg |
| Ledergerbung                                     |                         | Industrieabfall                      | 1,88E-04 kg |
| verschiedene Stoffe für das Wei-<br>chen/Äschern | 1,21E+01 kg             | Metalle                              |             |
| Fläche, unspezifiziert                           | 5,18E-04 m <sup>2</sup> | Ausbruch aus Stahlproduktion         | 7,50E-03 kg |
| Kohlendioxid                                     | 1,07E+00 kg             | Natriumsulfat                        | 1,67E-02 kg |
| Salzgewicht                                      | 4,17E+03 kg             | Organik                              |             |
| Sekundärrohstoffe                                | 2,53E-05 kg             | Bioabfall                            | 6,46E-02 kg |
| Wasser (erwärmt)                                 | 3,03E+04 kg             | Klärschlamm, 20 % TS                 | 4,07E+02 kg |
| Mineralien und Erze                              |                         | Schmelzkammergranulat                | 6,37E-01 kg |
| Kalkstein                                        | 8,73E-04 kg             | Wirbelschichtasche                   | 5,08E-02 kg |
| Schwefel                                         | 5,03E-01 kg             | Abfälle, unspezifiziert              | 9,29E-01 kg |
| Naturraum                                        |                         | Chemische Grundstoffe                |             |
| Fläche K7 (BRD)                                  | 3,17E-03 m <sup>2</sup> | Chem. Grundstoffe, anorg.            |             |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL)                  |                         | Salzsäure                            | 1,19E+01 kg |
| Energieträger (RiL)                              |                         | Schwefelsäure                        | 2,84E-03 kg |
| Erdgas (RiL)                                     | 5,50E+01 kg             | Emissionen (Boden)                   |             |
| Erdöl (RiL)                                      | 8,26E+01 kg             | Blei (B)                             | 2,33E-03 kg |
| Kohlen (RiL)                                     |                         | Cadmium (B)                          | 2,15E-05 kg |
| Braunkohle (RiL)                                 | 1,03E+02 kg             | Chrom (B)                            | 1,13E-03 kg |

| Input                      |             | Output                        |             |
|----------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Kohle, unspez. (RiL)       | 2,32E+00 kg | Kupfer (B)                    | 2,34E-03 kg |
| Steinkohle (RiL)           | 4,95E+01 kg | Nickel (B)                    | 7,57E-04 kg |
| Uran (RiL)                 | 1,56E-03 kg | Quecksilber (B)               | 9,83E-06 kg |
| Nichtenergieträger (RiL)   |             | Zink (B)                      | 7,49E-03 kg |
| Erze, unspez. (RiL)        | 1,70E-01 kg | Emissionen (Luft)             |             |
| Mineralien und Erze (RiL)  |             | Abwärme (L)                   | 1,39E+06 kJ |
| Baryt (RiL)                | 2,50E-06 kg | Partikel (L)                  | 3,21E-02 kg |
| Bauxit (RiL)               | 1,88E-06 kg | Staub (>PM10) (L)             | 6,46E-02 kg |
| Bentonit (RiL)             | 1,52E-03 kg | Staub (L)                     | 5,57E-01 kg |
| Eisenerz (RiL)             | 1,58E+00 kg | Staub (PM10) (L)              | 1,03E-01 kg |
| Kalkstein (RiL)            | 3,02E+02 kg | Verbindungen, anorg. (L)      |             |
| Natriumchlorid (RiL)       | 7,92E+01 kg | Ammoniak (L)                  | 1,17E-02 kg |
| Rohphosphat (RiL)          | 2,86E+00 kg | Chlor (L)                     | 2,30E-02 kg |
| Rutil (RiL)                | 9,88E-03 kg | Chlorwasserstoff (L)          | 2,06E-02 kg |
| Sand (RiL)                 | 7,40E-02 kg | Cyanwasserstoff (L)           | 5,36E-07 kg |
| Steinsalz (RiL)            | 5,21E-02 kg | Distickstoffmonoxid (L)       | 2,70E-02 kg |
| Mineralien, unspez. (RiL)  | 3,98E-01 kg | Fluor (L)                     | 6,58E-05 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL) |             | Fluorwasserstoff (L)          | 9,74E-04 kg |
| Metalle (RiL)              |             | Kohlendioxid (L)              |             |
| Blei (Pb) (RiL)            | 1,25E-06 kg | Kohlendioxid, fossil (L)      | 6,85E+02 kg |
| Eisen (Fe) (RiL)           | 8,15E-03 kg | Kohlendioxid, regenerativ (L) | 7,11E+01 kg |
| Ferromangan (RiL)          | 6,25E-07 kg | Kohlenmonoxid (L)             | 3,15E+00 kg |
| Schwefel (RiL)             | 1,85E+01 kg | Metalle (L)                   |             |
| Stoffe, diverse            |             | Antimon (L)                   | 2,77E-07 kg |
| Betriebsstoffe             |             | Arsen (L)                     | 4,11E-06 kg |
| Kühlöl                     | 1,35E-06 kg | Beryllium (L)                 | 3,31E-07 kg |
| Hilfsstoffe                |             | Blei (L)                      | 8,92E-06 kg |
| Zuschläge (Stahlprod.)     | 6,85E-02 kg | Cadmium (L)                   | 3,95E-06 kg |
| Luft                       | 9,05E-03 kg | Chrom (L)                     | 3,19E-06 kg |
| Wasser                     |             | Kobalt (L)                    | 4,51E-07 kg |
| Brauch-/Trinkwasser        |             | Kupfer (L)                    | 2,26E-06 kg |
| Kühlwasser                 | 5,36E+04 kg | Mangan (L)                    | 2,55E-06 kg |
| Kühlwasser, unspez.        | 8,91E-01 kg | Metalle, unspez. (L)          | 9,09E-05 kg |
| Wasser                     | 1,16E+02 kg | Nickel (L)                    | 1,63E-04 kg |
| Wasser (Kesselspeise)      | 1,30E+04 kg | Quecksilber (L)               | 4,24E-06 kg |
| Wasser (Prozess)           | 3,16E+01 kg | Selen (L)                     | 1,93E-05 kg |
| Wasser, entkarbonisiert    | 1,46E+00 kg | Thallium (L)                  | 5,13E-08 kg |
| Wasser, unspez.            | 8,49E+02 kg | Uran (L)                      | 9,49E-07 kg |
| Rohwasser                  |             | Vanadium (L)                  | 2,66E-07 kg |
| Grundwasser                | 2,38E+00 kg | Zink (L)                      | 2,24E-05 kg |
|                            |             | Zinn (L)                      | 9,30E-07 kg |
|                            |             | NOx (L)                       | 1,56E+00 kg |
|                            |             | Radionuklide (L)              |             |
|                            |             | Radionuklide, gesamt (L)      | 9,54E+07 Bq |
|                            |             | Schwefel (L)                  | 1,43E-07 kg |
|                            |             | Schwefeldioxid (L)            | 1,21E+00 kg |
|                            |             | Schwefelwasserstoff (L)       | 8,33E-05 kg |

| Input | Output                             |             |
|-------|------------------------------------|-------------|
|       | Stickstoffdioxid (L)               | 3,49E-03 kg |
|       | Sulfat (L)                         | 1,17E-01 kg |
|       | Wasserstoff (L)                    | 2,81E-03 kg |
|       | VOC (L)                            |             |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (L)    | 4,19E-03 kg |
|       | Methan (L)                         | 1,01E+00 kg |
|       | Methan, fossil (L)                 | 4,74E-02 kg |
|       | NMVOC (L)                          |             |
|       | NMVOC (Kohlenwasserstoffe) (L)     | 4,29E-03 kg |
|       | NMVOC (KW o. Benzol) (L)           | 2,62E-07 kg |
|       | NMVOC, aromat., unspez. (L)        | 4,10E-10 kg |
|       | NMVOC, halog. (L)                  |             |
|       | NMVOC, chlor. (L)                  |             |
|       | NMVOC, chlor, aromat. (L)          |             |
|       | Chlorbenzole (L)                   | 1,64E-14 kg |
|       | Chlorphenole (L)                   | 3,27E-14 kg |
|       | PCB (L)                            | 1,64E-16 kg |
|       | PCDD, PCDF (L)                     | 9,66E-11 kg |
|       | NMVOC, chlor., unspez. (L)         | 2,13E-12 kg |
|       | NMVOC, fluor. (L)                  |             |
|       | Hexafluorethan (L)                 | 5,19E-10 kg |
|       | Perfluorethan (L)                  | 9,47E-09 kg |
|       | Perfluormethan (L)                 | 3,44E-08 kg |
|       | NMVOC, nichthalog. (L)             |             |
|       | Akohole (L)                        |             |
|       | Methanol (L)                       | 2,39E-02 kg |
|       | Aldehyde (L)                       |             |
|       | Acetaldehyd (L)                    | 1,62E-05 kg |
|       | Aldehyde, unspez. (L)              | 9,33E-04 kg |
|       | Formaldehyd (L)                    | 8,87E-03 kg |
|       | Alkane (L)                         |             |
|       | Hexan (L)                          | 2,59E-05 kg |
|       | andere S (und O)-haltige Verb. (L) |             |
|       | Mercaptane (L)                     | 5,26E-10 kg |
|       | Aromatische Verbindungen (L)       |             |
|       | aromatische KW (L)                 |             |
|       | Benzol (L)                         | 2,62E-03 kg |
|       | Toluol (L)                         | 4,19E-10 kg |
|       | Xylol (L)                          | 7,48E-10 kg |
|       | Ether/Säuren (L)                   |             |
|       | Essigsäure (L)                     | 6,64E-02 kg |
|       | PAK (L)                            |             |
|       | Benzo(a)pyren (L)                  | 3,30E-07 kg |
|       | PAK ohne B(a)P (L)                 | 1,53E-06 kg |
|       | PAK, unspez. (L)                   | 4,70E-07 kg |
|       | NMVOC, unspez. (L)                 | 1,34E-01 kg |
|       | VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)       | 7,33E-01 kg |

| Input | Output                        |              |
|-------|-------------------------------|--------------|
|       | VOC, unspez. (L)              | 7,92E-03 kg  |
|       | Emissionen (Wasser)           |              |
|       | Emissionen (W)                |              |
|       | Abwärme (W)                   | 2,98E+05 kJ  |
|       | Chemikalien, unspez. (W)      | 2,00E-03 kg  |
|       | Feststoffe, gelöst (W)        | 2,03E-02 kg  |
|       | Feststoffe, suspendiert (W)   | 1,12E-01 kg  |
|       | Feststoffe, ungelöst (W)      | 2,95E-04 kg  |
|       | Verbindungen, anorganisch (W) |              |
|       | Bor (W)                       | 1,79E-08 kg  |
|       | Calciumsulfat (W)             | 5,18E+01 kg  |
|       | Chlor (W)                     | 1,93E-04 kg  |
|       | Chlorid (W)                   | 6,08E+00 kg  |
|       | Cyanid (W)                    | 5,15E-06 kg  |
|       | Fluor (W)                     | 1,79E-06 kg  |
|       | Fluorid (W)                   | 2,40E-04 kg  |
|       | Metalle (W)                   |              |
|       | Aluminium (W)                 | 5,13E-06 kg  |
|       | Antimon (W)                   | 7,89E-08 kg  |
|       | Arsen (W)                     | 7,12E-07 kg  |
|       | Barium (W)                    | 2,93E-06 kg  |
|       | Beryllium (W)                 | 3,86E-08 kg  |
|       | Blei (W)                      | 1,43E-04 kg  |
|       | Cadmium (W)                   | 1,05E-06 kg  |
|       | Calcium (W)                   | 4,99E-01 kg  |
|       | Chrom (W)                     | 1,55E-04 kg  |
|       | Cobalt (W)                    | 8,46E-09 kg  |
|       | Eisen (W)                     | 1,45E-04 kg  |
|       | Kobalt (W)                    | 8,38E-10 kg  |
|       | Kupfer (W)                    | 9,13E-06 kg  |
|       | Mangan (W)                    | 1,29E-04 kg  |
|       | Metalle, unspez. (W)          | 1,65E-03 kg  |
|       | Molybdän (W)                  | 1,60E-05 kg  |
|       | Natrium (W)                   | 1,50E+00 kg  |
|       | Nickel (W)                    | 7,84E-06 kg  |
|       | Quecksilber (W)               | 4,64E-07 kg  |
|       | Selen (W)                     | 4,82E-06 kg  |
|       | Uran (W)                      | 2,13E-05 kg  |
|       | Vanadium (W)                  | 1,24E-05 kg  |
|       | Zink (W)                      | 4,92E-05 kg  |
|       | Zinn (W)                      | 9,42E-09 kg  |
|       | Phosphat (W)                  | 4,15E-04 kg  |
|       | Phosphor (W)                  | 2,60E-04 kg  |
|       | Phosphorverbind. als P (W)    | 5,99E-03 kg  |
|       | Radionuklide (W)              |              |
|       | Radionuklide, gesamt (W)      | 5,68E+05 kBq |
|       | Salze, anorg. (W)             | 9,96E-01 kg  |

| Input | Output                                        |             |
|-------|-----------------------------------------------|-------------|
|       | Säuren als H(+) (W)                           | 4,26E-03 kg |
|       | Säuren, unspez. (W)                           | 6,71E-04 kg |
|       | Stickstoffverbindungen (W)                    |             |
|       | Ammoniak (W)                                  | 5,86E-05 kg |
|       | Ammonium (W)                                  | 6,42E-02 kg |
|       | Ammonium als N (W)                            | 1,88E-05 kg |
|       | Nitrat (W)                                    | 2,04E+00 kg |
|       | Nitrat als N (W)                              | 2,76E-06 kg |
|       | Nitrit (W)                                    | 5,13E-04 kg |
|       | Salpetersäure (W)                             | 3,01E-06 kg |
|       | Stickstoffverb., unspez. (W)                  | 9,23E-04 kg |
|       | Stickstoffverbind. als N (W)                  | 1,04E-04 kg |
|       | Sulfat (W)                                    | 3,48E+00 kg |
|       | Sulfid (W)                                    | 4,05E-04 kg |
|       | Verbindungen, organisch (W)                   |             |
|       | Detergenzien, Öl (W)                          | 7,54E-12 kg |
|       | halog. org. Verbindungen (W)                  |             |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)                  |             |
|       | chlor. Verbindungen, arom. (W)                |             |
|       | PCB (W)                                       | 2,16E-11 kg |
|       | Verbindungen, org., chlor., unspez. (W)       | 6,14E-15 kg |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)             |             |
|       | KW (W)                                        |             |
|       | Kohlenwasserstoffe, arom., unspez. (W)        | 3,74E-07 kg |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W)               | 6,19E-04 kg |
|       | Öl (W)                                        | 3,75E-05 kg |
|       | PAK (W)                                       |             |
|       | Benzo(a)pyren (W)                             | 1,33E-12 kg |
|       | PAK ohne B(a)P (W)                            | 1,19E-12 kg |
|       | PAK, unspez. (W)                              | 4,72E-10 kg |
|       | Phenole (W)                                   | 7,88E-05 kg |
|       | Verbindungen, org., gelöst (W)                | 1,53E-12 kg |
|       | Indikatorparameter                            |             |
|       | AOX (W)                                       | 4,79E-03 kg |
|       | BSB-5 (W)                                     | 1,78E-01 kg |
|       | CSB (W)                                       | 6,34E+00 kg |
|       | DOC (W)                                       | 8,73E-04 kg |
|       | TOC (W)                                       | 1,17E-03 kg |
|       | Feinchemikalien                               |             |
|       | Dünger                                        |             |
|       | Kalkdünger (als CaO)                          | 2,44E+00 kg |
|       | K-Dünger (als K <sub>2</sub> O)               | 3,93E-01 kg |
|       | N-Dünger (als N)                              | 5,46E-01 kg |
|       | P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 2,51E-01 kg |
|       | Ledergerbung                                  |             |
|       | Eisen(II)-chlorid                             | 9,50E+00 kg |
|       | Energiegutschrift, Methanol                   | 8,45E+04 kJ |

| Input | Output                                   |                         |
|-------|------------------------------------------|-------------------------|
|       | Entfleischgewicht                        | 4,44E+03 kg             |
|       | Ethylen (L)                              | 6,95E-05 kg             |
|       | Fett                                     | 2,22E+02 kg             |
|       | Grieben                                  | 3,17E+02 kg             |
|       | MgO                                      | 2,55E-01 kg             |
|       | Mineralien und Erze                      |                         |
|       | Natriumchlorid                           | 1,43E+01 kg             |
|       | Naturraum                                |                         |
|       | Deponievolumen                           | 6,44E-02 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert   | 9,26E-07 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert | 2,58E-07 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel.    | 1,40E-06 m <sup>3</sup> |
|       | Naturstoffe                              |                         |
|       | Fertigkompost (60%TS)                    | 6,07E+01 kg             |
|       | Wasser                                   |                         |
|       | Abwasser                                 |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung)            | 1,30E+04 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                    | 1,87E+04 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                       | 2,43E+00 kg             |
|       | Abwasser Kühlwasser, unspezifisch        | 8,91E-01 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                        | 3,00E+04 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                        | 3,19E+02 kg             |
|       | Kondensat                                | 6,84E-04 kg             |
|       | Brauch-/Trinkwasser                      |                         |
|       | Wasser                                   | 2,54E+03 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus                     | 2,27E-01 kg             |
|       | Sickerwasser, gefaßt                     | 6,60E-01 kg             |
|       | Wasserdampf                              | 3,29E+04 kg             |
|       | Wasser                                   |                         |
|       | Abwasser                                 |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung)            | 1,30E+04 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                    | 1,87E+04 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                       | 2,43E+00 kg             |
|       | Abwasser Kühlwasser, unspezifisch        | 8,91E-01 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                        | 3,00E+04 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                        | 3,19E+02 kg             |
|       | Kondensat                                | 6,84E-04 kg             |
|       | Brauch-/Trinkwasser                      |                         |
|       | Wasser                                   | 2,54E+03 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus                     | 2,27E-01 kg             |
|       | Sickerwasser, gefaßt                     | 6,60E-01 kg             |
|       | Wasserdampf                              | 3,29E+04 kg             |

Tabelle 2-8: Szenario ENZYMATISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme)

| Input                                         |             | Output                   |             |
|-----------------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| Feinchemikalien                               |             | Abfälle                  |             |
| Dünger                                        |             | Abfälle zur Beseitigung  |             |
| Kalkdünger (als CaO)                          | 2,44E+00 kg | Abfälle, unspezifiziert  | 4,87E-04 kg |
| K-Dünger (als K <sub>2</sub> O)               | 3,93E-01 kg | Abraum                   | 2,83E+00 kg |
| N-Dünger (als N)                              | 5,46E-01 kg | Aschen u. Schlacken      | 3,85E-04 kg |
| P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 2,51E-01 kg | Klärschlamm              | 4,75E-06 kg |
| Kumulierter Energieaufwand                    |             | Sonderabfall             | 7,30E-07 kg |
| KEA (Kernenergie)                             | 3,63E+03 kJ | Abfälle zur Verwertung   |             |
| KEA (Wasserkraft)                             | 2,20E+02 kJ | Filterstaub              | 5,81E-04 kg |
| KEA, fossil gesamt                            | 1,55E+05 kJ | Gips (REA)               | 2,12E-03 kg |
| KEA, regenerativ                              | 1,96E+02 kJ | Grobasche                | 8,68E-05 kg |
| KEA, sonst. regenerative                      | 3,13E+01 kJ | Natriumsulfat            | 1,91E-05 kg |
| KEA, sonstige                                 | 4,04E+02 kJ | Schmelzkammergranulat    | 7,28E-04 kg |
| Ledergerbung                                  |             | Wirbelschichtasche       | 5,81E-05 kg |
| Energiegutschrift, Methanol                   | 8,45E+04 kJ | Abfälle, unspezifiziert  | 7,90E-03 kg |
| MgO                                           | 2,55E-01 kg | Emissionen (Luft)        |             |
| Naturstoffe                                   |             | Abwärme (L)              | 1,54E+03 kJ |
| Fertigkompost (60%TS)                         | 6,07E+01 kg |                          |             |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL)               |             | Partikel (L)             | 2,09E-04 kg |
| Energieträger (RiL)                           |             | Staub (>PM10) (L)        | 9,24E-04 kg |
| Erdgas (RiL)                                  | 3,41E+00 kg | Staub (L)                | 2,24E-03 kg |
| Erdöl (RiL)                                   | 1,93E-01 kg | Staub (PM10) (L)         | 1,46E-03 kg |
| Kohlen (RiL)                                  |             | Verbindungen, anorg. (L) |             |
| Braunkohle (RiL)                              | 4,10E-01 kg | Ammoniak (L)             | 3,66E-03 kg |
| Steinkohle (RiL)                              | 1,89E-01 kg | Chlorwasserstoff (L)     | 1,43E-04 kg |
| Uran (RiL)                                    | 1,79E-06 kg | Distickstoffmonoxid (L)  | 8,45E-03 kg |
| Nichtenergieträger (RiL)                      |             | Fluor (L)                | 2,34E-11 kg |
| Mineralien und Erze (RiL)                     |             | Fluorwasserstoff (L)     | 1,90E-06 kg |
| Kalkstein (RiL)                               | 5,29E+00 kg | Kohlendioxid (L)         |             |
| Natriumchlorid (RiL)                          | 1,93E-05 kg | Kohlendioxid, fossil (L) | 9,06E+00 kg |
| Rohkali (RiL)                                 | 6,81E+00 kg | Kohlenmonoxid (L)        | 1,68E-02 kg |
| Rohphosphat (RiL)                             | 1,02E+00 kg | Metalle (L)              |             |
| Sand (RiL)                                    | 6,79E-05 kg | Antimon (L)              | 3,16E-10 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL)                    |             | Arsen (L)                | 3,20E-09 kg |
| Schwefel (RiL)                                | 6,84E-02 kg | Beryllium (L)            | 3,78E-10 kg |
| Wasser                                        |             | Blei (L)                 | 4,10E-09 kg |
| Brauch-/Trinkwasser                           |             | Cadmium (L)              | 8,24E-10 kg |
| Kühlwasser                                    | 6,09E+01 kg | Chrom (L)                | 1,63E-09 kg |
| Wasser (Kesselspeise)                         | 1,48E+01 kg | Kobalt (L)               | 2,74E-10 kg |
| Wasser (Prozess)                              | 2,58E-02 kg | Kupfer (L)               | 1,42E-09 kg |
| Wasser, unspez.                               | 1,13E-03 kg | Mangan (L)               | 1,38E-09 kg |
|                                               |             | Nickel (L)               | 3,64E-08 kg |
|                                               |             | Quecksilber (L)          | 4,04E-09 kg |
|                                               |             | Selen (L)                | 2,21E-08 kg |

| Input | Output                                     |
|-------|--------------------------------------------|
|       | Thallium (L) 5,87E-11 kg                   |
|       | Uran (L) 1,08E-09 kg                       |
|       | Vanadium (L) 3,04E-10 kg                   |
|       | Zink (L) 1,03E-08 kg                       |
|       | Zinn (L) 1,06E-09 kg                       |
|       | NOx (L) 2,04E-02 kg                        |
|       | Radionuklide (L)                           |
|       | Radionuklide, gesamt (L) 1,09E+05 Bq       |
|       | Schwefel (L) 1,64E-10 kg                   |
|       | Schwefeldioxid (L) 6,51E-03 kg             |
|       | Schwefelwasserstoff (L) 2,25E-07 kg        |
|       | VOC (L)                                    |
|       | Methan (L) 3,54E-02 kg                     |
|       | NMVOC (L)                                  |
|       | NMVOC (Kohlenwasserstoffe) (L) 3,09E-05 kg |
|       | NMVOC, halog. (L)                          |
|       | NMVOC, chlor. (L)                          |
|       | NMVOC, chlor, aromat. (L)                  |
|       | Chlorbenzole (L) 1,87E-17 kg               |
|       | Chlorphenole (L) 3,74E-17 kg               |
|       | PCB (L) 1,87E-19 kg                        |
|       | PCDD, PCDF (L) 1,02E-12 kg                 |
|       | NMVOC, fluor. (L)                          |
|       | Perfluorethan (L) 8,09E-12 kg              |
|       | Perfluormethan (L) 1,23E-11 kg             |
|       | NMVOC, nichthalog. (L)                     |
|       | Aldehyde (L)                               |
|       | Formaldehyd (L) 2,62E-05 kg                |
|       | Alkane (L)                                 |
|       | Hexan (L) 2,96E-08 kg                      |
|       | Aromatische Verbindungen (L)               |
|       | aromatische KW (L)                         |
|       | Benzol (L) 8,13E-06 kg                     |
|       | PAK (L)                                    |
|       | Benzo(a)pyren (L) 7,92E-10 kg              |
|       | PAK ohne B(a)P (L) 1,75E-09 kg             |
|       | NMVOC, unspez. (L) 1,57E-03 kg             |
|       | Emissionen (Wasser)                        |
|       | Emissionen (W)                             |
|       | Abwärme (W) 3,40E+02 kJ                    |
|       | Verbindungen, anorganisch (W)              |
|       | Bor (W) 2,05E-11 kg                        |
|       | Chlor (W) 2,21E-07 kg                      |
|       | Chlorid (W) 1,37E-05 kg                    |
|       | Cyanid (W) 1,93E-11 kg                     |
|       | Fluor (W) 2,05E-09 kg                      |
|       | Fluorid (W) 3,33E-08 kg                    |

| Input | Output                                      |
|-------|---------------------------------------------|
|       | Metalle (W)                                 |
|       | Aluminium (W) 5,66E-09 kg                   |
|       | Antimon (W) 2,53E-13 kg                     |
|       | Arsen (W) 7,05E-10 kg                       |
|       | Barium (W) 3,35E-09 kg                      |
|       | Beryllium (W) 4,41E-11 kg                   |
|       | Blei (W) 7,53E-08 kg                        |
|       | Cadmium (W) 1,77E-10 kg                     |
|       | Chrom (W) 3,08E-09 kg                       |
|       | Cobalt (W) 1,06E-11 kg                      |
|       | Kupfer (W) 7,12E-10 kg                      |
|       | Mangan (W) 1,48E-07 kg                      |
|       | Molybdän (W) 1,83E-08 kg                    |
|       | Nickel (W) 1,52E-09 kg                      |
|       | Quecksilber (W) 3,19E-12 kg                 |
|       | Selen (W) 5,48E-09 kg                       |
|       | Uran (W) 2,43E-08 kg                        |
|       | Vanadium (W) 1,42E-08 kg                    |
|       | Zink (W) 4,38E-09 kg                        |
|       | Zinn (W) 1,08E-11 kg                        |
|       | Phosphorverbind. als P (W) 4,64E-10 kg      |
|       | Radionuklide (W)                            |
|       | Radionuklide, gesamt (W) 6,49E+02 kBq       |
|       | Salze, anorg. (W) 2,59E-10 kg               |
|       | Stickstoffverbindungen (W)                  |
|       | Ammonium (W) 3,62E-07 kg                    |
|       | Nitrat (W) 4,09E-08 kg                      |
|       | Salpetersäure (W) 3,44E-09 kg               |
|       | Stickstoffverbind. als N (W) 7,68E-09 kg    |
|       | Sulfat (W) 1,53E-04 kg                      |
|       | Sulfid (W) 2,24E-10 kg                      |
|       | Verbindungen, organisch (W)                 |
|       | halog. org. Verbindungen (W)                |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)                |
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)            |
|       | PCB (W) 2,47E-14 kg                         |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)           |
|       | KW (W)                                      |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W) 2,33E-10 kg |
|       | Öl (W) 8,60E-15 kg                          |
|       | PAK (W)                                     |
|       | Benzo(a)pyren (W) 1,52E-15 kg               |
|       | PAK ohne B(a)P (W) 1,36E-15 kg              |
|       | Phenole (W) 2,83E-11 kg                     |
|       | Indikatorparameter                          |
|       | AOX (W) 3,49E-11 kg                         |
|       | BSB-5 (W) 8,41E-09 kg                       |

| Input | Output                                                           |
|-------|------------------------------------------------------------------|
|       | CSB (W) 6,74E-08 kg                                              |
|       | TOC (W) 3,46E-07 kg                                              |
|       | Feinchemikalien                                                  |
|       | Dünger                                                           |
|       | Kalkdünger (als CaO) 2,44E+00 kg                                 |
|       | K-Dünger (als K <sub>2</sub> O) 3,93E-01 kg                      |
|       | N-Dünger (als N) 5,46E-01 kg                                     |
|       | P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) 2,51E-01 kg        |
|       | Ledergerbung                                                     |
|       | Energiegutschrift, Methanol 8,45E+04 kJ                          |
|       | MgO 2,55E-01 kg                                                  |
|       | Naturraum                                                        |
|       | Deponievolumen 1,08E-06 m <sup>3</sup>                           |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert 1,06E-09 m <sup>3</sup>   |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert 2,95E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel. 1,61E-09 m <sup>3</sup>    |
|       | Naturstoffe                                                      |
|       | Fertigkompost (60%TS) 6,07E+01 kg                                |
|       | Wasser                                                           |
|       | Abwasser                                                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung) 1,48E+01 kg                        |
|       | Abwasser (Kühlwasser) 2,34E+01 kg                                |
|       | Abwasser (Prozess) 2,77E-03 kg                                   |
|       | Abwasser, geklärt 2,47E-04 kg                                    |
|       | Sickerwasser, diffus 2,93E-05 kg                                 |
|       | Sickerwasser, gefaßt 5,96E-06 kg                                 |
|       | Wasserdampf 3,76E+01 kg                                          |

Tabelle 2-9: Szenario CHEMISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme)

| Input                                            |                         | Output                               |                         |
|--------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Abfälle                                          |                         | Abfälle                              |                         |
| Abfälle zur Verwertung                           |                         | Abfälle zur Beseitigung              |                         |
| Abfallsäure, FeCl <sub>2</sub>                   | 3,28E+00 kg             | Abfälle aus chem. Industrie, inert   | 5,31E-02 kg             |
| Eisenschrott                                     | 2,71E-01 kg             | Abfälle aus REA                      | 4,24E-02 kg             |
| Metalle                                          |                         | Abfälle, eisenhaltig                 | 4,12E-02 kg             |
| Schrott (Eisen)                                  | 9,67E-02 kg             | Abfälle, hausmüllähnlich             | 2,97E-02 kg             |
| Schrott (NE)                                     | 7,77E-06 kg             | Abfälle, unspezifiziert              | 2,75E+00 kg             |
| Chemische Grundstoffe                            |                         | Abraum                               | 1,02E+03 kg             |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                        |                         | Altöl                                | 1,08E-06 kg             |
| Natriumhydroxid                                  | 1,04E-02 kg             | Aschen u. Schlacken                  | 1,44E+00 kg             |
| Schwefelsäure                                    | 4,17E-05 kg             | Eisenhydroxidschlamm                 | 3,13E-02 kg             |
| Energieträger, sekundär                          |                         | Klärschlamm                          | 3,82E-02 kg             |
| Brennstoffe, fest/flüssig                        |                         | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 4,59E-06 m <sup>3</sup> |
| Biomasse (kg)                                    | 1,72E-05 kg             | Sonderabfall                         | 9,67E-04 kg             |
| Kumulierter Energieaufwand                       |                         | Abfälle zur Verwertung               |                         |
| KEA (Kernenergie)                                | 1,19E+06 kJ             | Altöl                                | 5,04E-01 kg             |
| KEA (Wasserkraft)                                | 1,94E+04 kJ             | Aschen u. Schlacken                  | 1,47E-01 kg             |
| KEA, fossil gesamt                               | 9,33E+06 kJ             | Filterstaub                          | 5,83E-01 kg             |
| KEA, regenerativ                                 | 1,28E+02 kJ             | Gichtgasschlamm                      | 2,33E-03 kg             |
| KEA, sonst. regenerative                         | 3,14E+04 kJ             | Gichtgasstaub                        | 1,20E-02 kg             |
| KEA, sonstige                                    | 4,30E+03 kJ             | Gips (REA)                           | 2,24E+00 kg             |
| KEA, unspez.                                     | 4,94E+03 kJ             | Grobasche                            | 8,72E-02 kg             |
| Ledergerbung                                     |                         | Hochofenschlacke                     | 1,73E-01 kg             |
| verschiedene Stoffe für das Wei-<br>chen/Äschern | 1,12E+01 kg             | Metalle                              |                         |
| Fläche, unspezifiziert                           | 4,14E-04 m <sup>2</sup> | Ausbruch aus Stahlproduktion         | 6,00E-03 kg             |
| Salzgewicht                                      | 4,17E+03 kg             | Natriumsulfat                        | 1,91E-02 kg             |
| Sekundärrohstoffe                                | 2,02E-05 kg             | Organik                              |                         |
| Wasser (erwärmt)                                 | 3,75E+04 kg             | Klärschlamm, 20 % TS                 | 5,39E+02 kg             |
| Mineralien und Erze                              |                         | Schmelzkammergranulat                | 7,31E-01 kg             |
| Kalkstein                                        | 1,54E-03 kg             | Wirbelschichtasche                   | 5,83E-02 kg             |
| Schwefel                                         | 4,02E-01 kg             | Abfälle, unspezifiziert              | 6,80E-01 kg             |
| Naturraum                                        |                         | Chemische Grundstoffe                |                         |
| Fläche K7 (BRD)                                  | 3,70E-03 m <sup>2</sup> | Chem. Grundstoffe, anorg.            |                         |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL)                  |                         | Salzsäure                            | 9,49E+00 kg             |
| Energieträger (RiL)                              |                         | Schwefelsäure                        | 2,27E-03 kg             |
| Erdgas (RiL)                                     | 5,42E+01 kg             | Emissionen (Luft)                    |                         |
| Erdöl (RiL)                                      | 1,01E+02 kg             | Abwärme (L)                          | 1,60E+06 kJ             |
| Kohlen (RiL)                                     |                         | Partikel (L)                         | 4,16E-02 kg             |
| Braunkohle (RiL)                                 | 1,14E+02 kg             | Staub (>PM10) (L)                    | 6,15E-02 kg             |
| Kohle, unspez. (RiL)                             | 1,61E+00 kg             | Staub (L)                            | 7,01E-01 kg             |
| Steinkohle (RiL)                                 | 7,20E+01 kg             | Staub (PM10) (L)                     | 9,86E-02 kg             |
| Uran (RiL)                                       | 1,79E-03 kg             | Verbindungen, anorg. (L)             |                         |
| Nichtenergeträger (RiL)                          |                         | Ammoniak (L)                         | 1,58E-02 kg             |
| Erze, unspez. (RiL)                              | 1,36E-01 kg             | Chlor (L)                            | 1,84E-02 kg             |

| Input                      |             | Output                         |             |
|----------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| Mineralien und Erze (RiL)  |             | Chlorwasserstoff (L)           | 2,18E-02 kg |
| Bentonit (RiL)             | 1,22E-03 kg | Cyanwasserstoff (L)            | 4,29E-07 kg |
| Eisenerz (RiL)             | 1,27E+00 kg | Distickstoffmonoxid (L)        | 2,99E-02 kg |
| Kalkstein (RiL)            | 2,89E+02 kg | Fluor (L)                      | 4,28E-05 kg |
| Natriumchlorid (RiL)       | 1,16E+02 kg | Fluorwasserstoff (L)           | 1,10E-03 kg |
| Rohphosphat (RiL)          | 2,84E+00 kg | Kohlendioxid (L)               |             |
| Sand (RiL)                 | 7,60E-02 kg | Kohlendioxid, fossil (L)       | 8,41E+02 kg |
| Mineralien, un spez. (RiL) | 3,18E-01 kg | Kohlendioxid, regenerativ (L)  | 1,05E+01 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL) |             | Kohlenmonoxid (L)              | 3,07E+00 kg |
| Metalle (RiL)              |             | Metalle (L)                    |             |
| Eisen (Fe) (RiL)           | 6,82E-03 kg | Antimon (L)                    | 3,18E-07 kg |
| Schwefel (RiL)             | 3,58E+01 kg | Arsen (L)                      | 4,80E-06 kg |
| Stoffe, diverse            |             | Beryllium (L)                  | 3,80E-07 kg |
| Betriebsstoffe             |             | Blei (L)                       | 8,37E-06 kg |
| Kühlöl                     | 1,08E-06 kg | Cadmium (L)                    | 4,81E-06 kg |
| Hilfsstoffe                |             | Chrom (L)                      | 3,77E-06 kg |
| Zuschläge (Stahlprod.)     | 5,48E-02 kg | Kobalt (L)                     | 4,44E-07 kg |
| Luft                       | 7,24E-03 kg | Kupfer (L)                     | 2,24E-06 kg |
| Wasser                     |             | Mangan (L)                     | 2,46E-06 kg |
| Brauch-/Trinkwasser        |             | Metalle, un spez. (L)          | 6,38E-05 kg |
| Kühlwasser                 | 6,34E+04 kg | Nickel (L)                     | 1,97E-04 kg |
| Kühlwasser, un spez.       | 1,12E+00 kg | Quecksilber (L)                | 3,91E-06 kg |
| Wasser                     | 2,30E+02 kg | Selen (L)                      | 2,22E-05 kg |
| Wasser (Kesselspeise)      | 1,49E+04 kg | Thallium (L)                   | 5,89E-08 kg |
| Wasser (Prozess)           | 3,32E+01 kg | Uran (L)                       | 1,09E-06 kg |
| Wasser, entkarbonisiert    | 1,17E+00 kg | Vanadium (L)                   | 3,05E-07 kg |
| Wasser, un spez.           | 1,14E+03 kg | Zink (L)                       | 2,11E-05 kg |
| Rohwasser                  |             | Zinn (L)                       | 1,07E-06 kg |
| Grundwasser                | 1,90E+00 kg | NOx (L)                        | 1,83E+00 kg |
|                            |             | Radionuklide (L)               |             |
|                            |             | Radionuklide, gesamt (L)       | 1,09E+08 Bq |
|                            |             | Schwefel (L)                   | 1,65E-07 kg |
|                            |             | Schwefeldioxid (L)             | 1,68E+00 kg |
|                            |             | Schwefelwasserstoff (L)        | 6,67E-05 kg |
|                            |             | Stickstoffdioxid (L)           | 3,38E-04 kg |
|                            |             | Sulfat (L)                     | 2,33E-01 kg |
|                            |             | Wasserstoff (L)                | 2,25E-03 kg |
|                            |             | VOC (L)                        |             |
|                            |             | Methan (L)                     | 1,38E+00 kg |
|                            |             | Methan, fossil (L)             | 3,79E-02 kg |
|                            |             | NMVOC (L)                      |             |
|                            |             | NMVOC (Kohlenwasserstoffe) (L) | 4,06E-03 kg |
|                            |             | NMVOC (KW o. Benzol) (L)       | 2,09E-07 kg |
|                            |             | NMVOC, aromat., un spez. (L)   | 3,28E-10 kg |
|                            |             | NMVOC, halog. (L)              |             |
|                            |             | NMVOC, chlor. (L)              |             |
|                            |             | NMVOC, chlor, aromat. (L)      |             |

| Input | Output                             |             |
|-------|------------------------------------|-------------|
|       | Chlorbenzole (L)                   | 1,88E-14 kg |
|       | Chlorphenole (L)                   | 3,76E-14 kg |
|       | PCB (L)                            | 1,88E-16 kg |
|       | PCDD, PCDF (L)                     | 1,29E-10 kg |
|       | NMVOC, chlor., unspez. (L)         | 1,70E-12 kg |
|       | NMVOC, fluor. (L)                  |             |
|       | Hexafluorethan (L)                 | 4,91E-10 kg |
|       | Perfluorethan (L)                  | 9,62E-09 kg |
|       | Perfluormethan (L)                 | 2,85E-08 kg |
|       | NMVOC, nichthalog. (L)             |             |
|       | Akohole (L)                        |             |
|       | Methanol (L)                       | 1,91E-02 kg |
|       | Aldehyde (L)                       |             |
|       | Acetaldehyd (L)                    | 1,62E-05 kg |
|       | Aldehyde, unspez. (L)              | 7,95E-04 kg |
|       | Formaldehyd (L)                    | 1,12E-02 kg |
|       | Alkane (L)                         |             |
|       | Hexan (L)                          | 2,98E-05 kg |
|       | andere S (und O)-haltige Verb. (L) |             |
|       | Mercaptane (L)                     | 7,06E-18 kg |
|       | Aromatische Verbindungen (L)       |             |
|       | aromatische KW (L)                 |             |
|       | Benzol (L)                         | 3,29E-03 kg |
|       | Toluol (L)                         | 3,35E-10 kg |
|       | Xylol (L)                          | 5,99E-10 kg |
|       | Ether/Säuren (L)                   |             |
|       | Essigsäure (L)                     | 5,31E-02 kg |
|       | PAK (L)                            |             |
|       | Benzo(a)pyren (L)                  | 3,44E-07 kg |
|       | PAK ohne B(a)P (L)                 | 1,76E-06 kg |
|       | PAK, unspez. (L)                   | 3,76E-07 kg |
|       | NMVOC, unspez. (L)                 | 1,72E-01 kg |
|       | VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)       | 6,93E-01 kg |
|       | VOC, unspez. (L)                   | 6,81E-03 kg |
|       | Emissionen (Wasser)                |             |
|       | Emissionen (W)                     |             |
|       | Abwärme (W)                        | 3,42E+05 kJ |
|       | Chemikalien, unspez. (W)           | 1,68E-03 kg |
|       | Feststoffe, gelöst (W)             | 1,27E-02 kg |
|       | Feststoffe, suspendiert (W)        | 1,48E-01 kg |
|       | Feststoffe, ungelöst (W)           | 2,36E-04 kg |
|       | Verbindungen, anorganisch (W)      |             |
|       | Bor (W)                            | 2,05E-08 kg |
|       | Calciumsulfat (W)                  | 1,28E+02 kg |
|       | Chlor (W)                          | 2,21E-04 kg |
|       | Chlorid (W)                        | 9,69E+00 kg |
|       | Cyanid (W)                         | 4,12E-06 kg |

| Input | Output                       |              |
|-------|------------------------------|--------------|
|       | Fluor (W)                    | 2,06E-06 kg  |
|       | Fluorid (W)                  | 1,89E-04 kg  |
|       | Metalle (W)                  |              |
|       | Aluminium (W)                | 5,73E-06 kg  |
|       | Antimon (W)                  | 6,32E-08 kg  |
|       | Arsen (W)                    | 7,88E-07 kg  |
|       | Barium (W)                   | 3,36E-06 kg  |
|       | Beryllium (W)                | 4,43E-08 kg  |
|       | Blei (W)                     | 1,79E-04 kg  |
|       | Cadmium (W)                  | 1,40E-06 kg  |
|       | Calcium (W)                  | 6,88E-01 kg  |
|       | Chrom (W)                    | 1,39E-04 kg  |
|       | Cobalt (W)                   | 9,87E-09 kg  |
|       | Eisen (W)                    | 1,02E-04 kg  |
|       | Kobalt (W)                   | 7,94E-10 kg  |
|       | Kupfer (W)                   | 1,23E-05 kg  |
|       | Mangan (W)                   | 1,48E-04 kg  |
|       | Metalle, unspez. (W)         | 1,68E-03 kg  |
|       | Molybdän (W)                 | 1,84E-05 kg  |
|       | Natrium (W)                  | 2,82E+00 kg  |
|       | Nickel (W)                   | 9,79E-06 kg  |
|       | Quecksilber (W)              | 7,67E-08 kg  |
|       | Selen (W)                    | 5,52E-06 kg  |
|       | Uran (W)                     | 2,44E-05 kg  |
|       | Vanadium (W)                 | 1,42E-05 kg  |
|       | Zink (W)                     | 4,38E-05 kg  |
|       | Zinn (W)                     | 1,08E-08 kg  |
|       | Phosphat (W)                 | 2,31E-05 kg  |
|       | Phosphor (W)                 | 3,58E-04 kg  |
|       | Phosphorverbind. als P (W)   | 7,50E-03 kg  |
|       | Radionuklide (W)             |              |
|       | Radionuklide, gesamt (W)     | 6,52E+05 kBq |
|       | Salze, anorg. (W)            | 6,83E-01 kg  |
|       | Säuren als H(+) (W)          | 3,57E-03 kg  |
|       | Säuren, unspez. (W)          | 5,27E-04 kg  |
|       | Stickstoffverbindungen (W)   |              |
|       | Ammoniak (W)                 | 6,84E-05 kg  |
|       | Ammonium (W)                 | 7,34E-02 kg  |
|       | Ammonium als N (W)           | 1,50E-05 kg  |
|       | Nitrat (W)                   | 2,56E+00 kg  |
|       | Nitrat als N (W)             | 2,21E-06 kg  |
|       | Salpetersäure (W)            | 3,46E-06 kg  |
|       | Stickstoffverb., unspez. (W) | 1,27E-03 kg  |
|       | Stickstoffverbind. als N (W) | 1,21E-04 kg  |
|       | Sulfat (W)                   | 6,52E+00 kg  |
|       | Sulfid (W)                   | 3,41E-04 kg  |
|       | Verbindungen, organisch (W)  |              |

| Input | Output                                   |                         |
|-------|------------------------------------------|-------------------------|
|       | Detergenzien, Öl (W)                     | 6,03E-12 kg             |
|       | halog. org. Verbindungen (W)             |                         |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)             |                         |
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)         |                         |
|       | PCB (W)                                  | 2,48E-11 kg             |
|       | Verbindungen, org., chlor., unspez. (W)  | 4,91E-15 kg             |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)        |                         |
|       | KW (W)                                   |                         |
|       | Kohlenwasserstoffe, aromat., unspez. (W) | 2,99E-07 kg             |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W)          | 1,55E-04 kg             |
|       | Öl (W)                                   | 3,75E-05 kg             |
|       | PAK (W)                                  |                         |
|       | Benzo(a)pyren (W)                        | 1,52E-12 kg             |
|       | PAK ohne B(a)P (W)                       | 1,37E-12 kg             |
|       | PAK, unspez. (W)                         | 3,78E-10 kg             |
|       | Phenole (W)                              | 5,14E-05 kg             |
|       | Verbindungen, org., gelöst (W)           | 1,23E-12 kg             |
|       | Indikatorparameter                       |                         |
|       | AOX (W)                                  | 6,00E-03 kg             |
|       | BSB-5 (W)                                | 9,46E-02 kg             |
|       | CSB (W)                                  | 7,04E+00 kg             |
|       | DOC (W)                                  | 8,70E-04 kg             |
|       | TOC (W)                                  | 1,22E-03 kg             |
|       | Ledergerbung                             |                         |
|       | Eisen(II)-chlorid                        | 7,60E+00 kg             |
|       | Energiegutschrift, Methanol              | 6,76E+04 kJ             |
|       | Entfleischgewicht                        | 4,82E+03 kg             |
|       | Ethylen (L)                              | 6,95E-05 kg             |
|       | Fett                                     | 2,59E+02 kg             |
|       | Grieben                                  | 3,70E+02 kg             |
|       | Mineralien und Erze                      |                         |
|       | Natriumchlorid                           | 1,15E+01 kg             |
|       | Naturraum                                |                         |
|       | Deponievolumen                           | 7,50E-02 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert   | 1,06E-06 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert | 2,96E-07 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel.    | 1,61E-06 m <sup>3</sup> |
|       | Wasser                                   |                         |
|       | Abwasser                                 |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung)            | 1,49E+04 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                    | 2,15E+04 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                       | 2,79E+00 kg             |
|       | Abwasser Kühlwasser, unspezifisch        | 1,12E+00 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                        | 3,76E+04 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                        | 1,16E+00 kg             |
|       | Kondensat                                | 5,47E-04 kg             |
|       | Brauch-/Trinkwasser                      |                         |

| Input | Output                            |             |
|-------|-----------------------------------|-------------|
|       | Wasser                            | 2,96E+03 kg |
|       | Sickerwasser, diffus              | 2,64E-01 kg |
|       | Sickerwasser, gefaßt              | 7,70E-01 kg |
|       | Wasserdampf                       | 3,78E+04 kg |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung)     | 1,49E+04 kg |
|       | Abwasser (Kühlwasser)             | 2,15E+04 kg |
|       | Abwasser (Prozess)                | 2,79E+00 kg |
|       | Abwasser Kühlwasser, unspezifisch | 1,12E+00 kg |
|       | Abwasser, geklärt                 | 3,76E+04 kg |
|       | Abwasser, unspez.                 | 1,16E+00 kg |
|       | Kondensat                         | 5,47E-04 kg |
|       | Brauch-/Trinkwasser               |             |
|       | Wasser                            | 2,96E+03 kg |
|       | Sickerwasser, diffus              | 2,64E-01 kg |
|       | Sickerwasser, gefaßt              | 7,70E-01 kg |
|       | Wasserdampf                       | 3,78E+04 kg |

Tabelle 2-10: Szenario CHEMISCHES WEICHEN/ÄSCHERN - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme)

| Input                           |             | Output                        |             |
|---------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Kumulierter Energieaufwand      |             | Abfälle                       |             |
| KEA (Kernenergie)               | 1,30E+03 kJ | Abfälle zur Beseitigung       |             |
| KEA, fossil gesamt              | 9,07E+04 kJ | Abraum                        | 9,59E-01 kg |
| KEA, regenerativ                | 1,57E+02 kJ | Klärschlamm                   | 1,51E-06 kg |
| KEA, sonstige                   | 3,23E+02 kJ | Abfälle, unspezifiziert       | 6,32E-03 kg |
| Ledergerbung                    |             | Emissionen (Luft)             |             |
| Energiegutschrift, Methanol     | 6,76E+04 kJ | Staub (L)                     | 1,17E-04 kg |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL) |             | Verbindungen, anorg. (L)      |             |
| Energieträger (RiL)             |             | Ammoniak (L)                  | 2,12E-10 kg |
| Erdgas (RiL)                    | 2,18E+00 kg | Chlorwasserstoff (L)          | 1,30E-05 kg |
| Erdöl (RiL)                     | 2,42E-03 kg | Distickstoffmonoxid (L)       | 1,03E-04 kg |
| Kohlen (RiL)                    |             | Fluorwasserstoff (L)          | 9,19E-07 kg |
| Braunkohle (RiL)                | 1,19E-01 kg | Kohlendioxid (L)              |             |
| Steinkohle (RiL)                | 4,21E-02 kg | Kohlendioxid, fossil (L)      | 4,80E+00 kg |
| Wasser                          |             | Kohlenmonoxid (L)             | 2,67E-03 kg |
| Brauch-/Trinkwasser             |             | NOx (L)                       | 6,66E-03 kg |
| Kühlwasser                      | 1,75E+00 kg | Schwefeldioxid (L)            | 2,72E-04 kg |
|                                 |             | Schwefelwasserstoff (L)       | 1,79E-07 kg |
|                                 |             | VOC (L)                       |             |
|                                 |             | Methan (L)                    | 2,33E-02 kg |
|                                 |             | NM VOC (L)                    |             |
|                                 |             | NM VOC, halog. (L)            |             |
|                                 |             | NM VOC, fluor. (L)            |             |
|                                 |             | Perfluorethan (L)             | 1,23E-12 kg |
|                                 |             | Perfluormethan (L)            | 9,78E-12 kg |
|                                 |             | NM VOC, unspez. (L)           | 8,45E-04 kg |
|                                 |             | Emissionen (Wasser)           |             |
|                                 |             | Emissionen (W)                |             |
|                                 |             | Verbindungen, anorganisch (W) |             |
|                                 |             | Salze, anorg. (W)             | 1,68E-10 kg |
|                                 |             | Stickstoffverbindungen (W)    |             |
|                                 |             | Stickstoffverbind. als N (W)  | 5,90E-12 kg |
|                                 |             | Indikatorparameter            |             |
|                                 |             | AOX (W)                       | 9,92E-15 kg |
|                                 |             | BSB-5 (W)                     | 1,80E-11 kg |
|                                 |             | CSB (W)                       | 4,52E-10 kg |
|                                 |             | Ledergerbung                  |             |
|                                 |             | Energiegutschrift, Methanol   | 6,76E+04 kJ |
|                                 |             | Wasser                        |             |
|                                 |             | Abwasser                      |             |
|                                 |             | Abwasser (Kühlwasser)         | 1,75E+00 kg |

## 2.7 Daten zur Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung)

Tabelle 2-11: Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanz-ergebnisse (Klassifizierung) für beide Szenarien

|                                    | Einheit                             | ENZYMATISCHES WEICHEN/ÄSCHERN |            |          | CHEMISCHES WEICHEN/ÄSCHERN |            |          |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------|----------|----------------------------|------------|----------|
|                                    |                                     | Brutto                        | Gutschrift | Netto    | Brutto                     | Gutschrift | Netto    |
| KEA                                |                                     |                               |            |          |                            |            |          |
|                                    | Klassifizierung = Charakterisierung |                               |            |          |                            |            |          |
| KEA fossil                         | kJ                                  | 7,92E+06                      | -1,55E+05  | 7,77E+06 | 9,33E+06                   | -9,07E+04  | 9,24E+06 |
| KEA Kernkraft                      | kJ                                  | 1,07E+06                      | -3,63E+03  | 1,07E+06 | 1,19E+06                   | -1,30E+03  | 1,19E+06 |
| KEA sonstige                       | kJ                                  | 9,94E+03                      | -4,04E+02  | 9,53E+03 | 9,24E+03                   | -3,23E+02  | 8,92E+03 |
| KEA Wasserkraft                    | kJ                                  | 1,97E+04                      | -2,20E+02  | 1,95E+04 | 1,94E+04                   | 0,00E+00   | 1,94E+04 |
| KEA regenerativ                    | kJ                                  | 3,04E+04                      | -2,28E+02  | 3,02E+04 | 3,15E+04                   | -1,57E+02  | 3,14E+04 |
| Summe KEA                          | kJ                                  | 9,05E+06                      | -1,59E+05  | 8,89E+06 | 1,06E+07                   | -9,25E+04  | 1,05E+07 |
| Treibhauseffekt                    |                                     |                               |            |          |                            |            |          |
|                                    | Klassifizierung                     |                               |            |          |                            |            |          |
| Perfluorethan (L)                  | kg                                  | 5,19E-10                      | -          | 5,19E-10 | 4,91E-10                   | -          | 4,91E-10 |
| Perfluormethan (L)                 | kg                                  | 3,44E-08                      | -1,23E-11  | 3,44E-08 | 2,85E-08                   | -9,78E-12  | 2,85E-08 |
| Methan (L)                         | kg                                  | 1,06E+00                      | -3,54E-02  | 1,02E+00 | 1,42E+00                   | -2,33E-02  | 1,40E+00 |
| Kohlendioxid fossil u. unspez. (L) | kg                                  | 6,85E+02                      | -9,06E+00  | 6,76E+02 | 8,41E+02                   | -4,80E+00  | 8,36E+02 |
| Halon 1301 (L)                     | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Distickstoffmonoxid (L)            | kg                                  | 2,70E-02                      | -8,45E-03  | 1,85E-02 | 2,99E-02                   | -1,03E-04  | 2,98E-02 |
| R11 (L)                            | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R113 (L)                           | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R114 (L)                           | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R115 (L)                           | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R12 (L)                            | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R123 (L)                           | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R141 (L)                           | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R142 (L)                           | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 22 (L)                           | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 134a (L)                         | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 404A (L)                         | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 407C (L)                         | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 410A (L)                         | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 417a (Isceon 59) (L)             | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Tetrachlorkohlenstoff (L)          | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Trichlorethan (L)                  | kg                                  | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
|                                    | Charakterisierung                   |                               |            |          |                            |            |          |
| Perfluorethan                      | kg CO <sub>2</sub>                  | 4,26E-06                      | -          | 4,26E-06 | 4,03E-06                   | -          | 4,03E-06 |
| Perfluormethan                     | kg CO <sub>2</sub>                  | 2,17E-04                      | -7,75E-08  | 2,17E-04 | 1,80E-04                   | -6,16E-08  | 1,80E-04 |
| Methan                             | kg CO <sub>2</sub>                  | 2,22E+01                      | -7,43E-01  | 2,15E+01 | 2,99E+01                   | -4,90E-01  | 2,94E+01 |
| Kohlendioxid fossil u. unspez.     | kg CO <sub>2</sub>                  | 6,85E+02                      | -9,06E+00  | 6,76E+02 | 8,41E+02                   | -4,80E+00  | 8,36E+02 |

|                                           | Einheit            | ENZYMATISCHES WEICHEN/ÄSCHERN |            |          | CHEMISCHES WEICHEN/ÄSCHERN |            |          |
|-------------------------------------------|--------------------|-------------------------------|------------|----------|----------------------------|------------|----------|
|                                           |                    | Brutto                        | Gutschrift | Netto    | Brutto                     | Gutschrift | Netto    |
| Halon 1301                                | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Distickstoffmonoxid                       | kg CO <sub>2</sub> | 8,36E+00                      | -2,62E+00  | 5,74E+00 | 9,25E+00                   | -3,20E-02  | 9,22E+00 |
| R 11                                      | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 113                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 114                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 115                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 12                                      | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 123                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 141                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 142                                     | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 22                                      | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 134a                                    | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 404A                                    | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 407C                                    | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 410A                                    | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 417a (Isceon 59)                        | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Tetrachlorkohlenstoff                     | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Trichlorethan                             | kg CO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Treibhauspotential (GWP 100)              | kg CO <sub>2</sub> | 7,15E+02                      | -1,24E+01  | 7,03E+02 | 8,80E+02                   | -5,32E+00  | 8,74E+02 |
| <b>Versauerung</b>                        |                    |                               |            |          |                            |            |          |
|                                           | Klassifizierung    |                               |            |          |                            |            |          |
| Chlorwasserstoff (L)                      | kg                 | 2,06E-02                      | -1,43E-04  | 2,05E-02 | 2,18E-02                   | -1,30E-05  | 2,18E-02 |
| Fluorwasserstoff (L)                      | kg                 | 9,74E-04                      | -1,90E-06  | 9,73E-04 | 1,10E-03                   | -9,19E-07  | 1,10E-03 |
| Schwefeloxide (als SO <sub>2</sub> ) (L)  | kg                 | 1,21E+00                      | -6,51E-03  | 1,21E+00 | 1,68E+00                   | -2,72E-04  | 1,68E+00 |
| Schwefelwasserstoff (L)                   | kg                 | 8,33E-05                      | -2,25E-07  | 8,30E-05 | 6,67E-05                   | -1,79E-07  | 6,65E-05 |
| Stickoxide (NOx als NO <sub>2</sub> ) (L) | kg                 | 1,56E+00                      | -2,04E-02  | 1,54E+00 | 1,83E+00                   | -6,66E-03  | 1,83E+00 |
| TRS (L)                                   | kg                 | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ammoniak (L)                              | kg                 | 1,17E-02                      | -3,66E-03  | 8,05E-03 | 1,58E-02                   | -2,12E-10  | 1,58E-02 |
|                                           | Charakterisierung  |                               |            |          |                            |            |          |
| Chlorwasserstoff                          | kg SO <sub>2</sub> | 1,81E-02                      | -1,26E-04  | 1,80E-02 | 1,92E-02                   | -1,14E-05  | 1,92E-02 |
| Fluorwasserstoff                          | kg SO <sub>2</sub> | 1,56E-03                      | -3,03E-06  | 1,56E-03 | 1,76E-03                   | -1,47E-06  | 1,76E-03 |
| Schwefeloxide (als SO <sub>2</sub> )      | kg SO <sub>2</sub> | 1,21E+00                      | -6,51E-03  | 1,21E+00 | 1,68E+00                   | -2,72E-04  | 1,68E+00 |
| Schwefelwasserstoff                       | kg SO <sub>2</sub> | 1,57E-04                      | -4,24E-07  | 1,56E-04 | 1,25E-04                   | -3,37E-07  | 1,25E-04 |
| Stickoxide (als NO <sub>2</sub> )         | kg SO <sub>2</sub> | 1,09E+00                      | -1,43E-02  | 1,08E+00 | 1,28E+00                   | -4,66E-03  | 1,28E+00 |
| TRS                                       | kg SO <sub>2</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ammoniak                                  | kg SO <sub>2</sub> | 2,20E-02                      | -6,88E-03  | 1,51E-02 | 2,96E-02                   | -3,98E-10  | 2,96E-02 |
| Versauerungspotential                     | kg SO <sub>2</sub> | 2,35E+00                      | -2,78E-02  | 2,32E+00 | 3,01E+00                   | -4,95E-03  | 3,00E+00 |
| <b>Eutrophierung</b>                      |                    |                               |            |          |                            |            |          |
|                                           | Klassifizierung    |                               |            |          |                            |            |          |
| Ammoniak (L)                              | kg                 | 1,17E-02                      | -3,66E-03  | 8,05E-03 | 1,58E-02                   | -2,12E-10  | 1,58E-02 |
| Stickoxide (NOx als NO <sub>2</sub> ) (L) | kg                 | 1,56E+00                      | -2,04E-02  | 1,54E+00 | 1,83E+00                   | -6,66E-03  | 1,83E+00 |
| CSB (W)                                   | kg                 | 6,34E+00                      | -6,74E-08  | 6,34E+00 | 7,04E+00                   | -4,52E-10  | 7,04E+00 |
| Nitrit (W)                                | kg                 | 5,13E-04                      | -          | 5,13E-04 | -                          | -          | -        |
| Nitrat (W)                                | kg                 | 2,04E+00                      | -4,09E-08  | 2,04E+00 | 2,56E+00                   | -          | 2,56E+00 |

|                                                   | Einheit            | ENZYMATISCHES WEICHEN/ÄSCHERN |            |          | CHEMISCHES WEICHEN/ÄSCHERN |            |          |
|---------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------|------------|----------|----------------------------|------------|----------|
|                                                   |                    | Brutto                        | Gutschrift | Netto    | Brutto                     | Gutschrift | Netto    |
| Ammonium (W)                                      | kg                 | 6,42E-02                      | -3,62E-07  | 6,42E-02 | 7,34E-02                   | -          | 7,34E-02 |
| Stickstoff-Verb. unspez. (W)                      | kg                 | 9,23E-04                      | -          | 9,23E-04 | 1,27E-03                   | -          | 1,27E-03 |
| Stickstoff-Verb. als N (W)                        | kg                 | 1,04E-04                      | -7,68E-09  | 1,04E-04 | 1,21E-04                   | -5,90E-12  | 1,21E-04 |
| Phosphat (W)                                      | kg                 | 4,15E-04                      | -          | 4,15E-04 | 2,31E-05                   | -          | 2,31E-05 |
| Phosphor als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (W)    | kg                 | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Phosphor-Verb. als P (W)                          | kg                 | 5,99E-03                      | -4,64E-10  | 5,99E-03 | 7,50E-03                   | -          | 7,50E-03 |
| Charakterisierung                                 |                    |                               |            |          |                            |            |          |
| Ammoniak                                          | kg PO <sub>4</sub> | 4,05E-03                      | -1,27E-03  | 2,79E-03 | 5,45E-03                   | -7,33E-11  | 5,45E-03 |
| Stickoxide (NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> ) | kg PO <sub>4</sub> | 2,03E-01                      | -2,66E-03  | 2,00E-01 | 2,38E-01                   | -8,66E-04  | 2,37E-01 |
| CSB                                               | kg PO <sub>4</sub> | 1,40E-01                      | -1,48E-09  | 1,40E-01 | 1,55E-01                   | -9,94E-12  | 1,55E-01 |
| Nitrit                                            | kg PO <sub>4</sub> | 6,67E-05                      | -          | 6,67E-05 | -                          | -          | -        |
| Nitrat                                            | kg PO <sub>4</sub> | 1,94E-01                      | -3,89E-09  | 1,94E-01 | 2,43E-01                   | -          | 2,43E-01 |
| Ammonium                                          | kg PO <sub>4</sub> | 2,10E-02                      | -1,18E-07  | 2,10E-02 | 2,40E-02                   | -          | 2,40E-02 |
| Stickstoff-Verb. unspez.                          | kg PO <sub>4</sub> | 3,87E-04                      | -          | 3,87E-04 | 5,35E-04                   | -          | 5,35E-04 |
| Stickstoff-Verb. als N                            | kg PO <sub>4</sub> | 4,35E-05                      | -3,23E-09  | 4,35E-05 | 5,07E-05                   | -2,48E-12  | 5,07E-05 |
| Phosphat                                          | kg PO <sub>4</sub> | 4,15E-04                      | -          | 4,15E-04 | 2,31E-05                   | -          | 2,31E-05 |
| Phosphate als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>       | kg PO <sub>4</sub> | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Phosphor-Verb. als P                              | kg PO <sub>4</sub> | 1,83E-02                      | -1,42E-09  | 1,83E-02 | 2,30E-02                   | -          | 2,30E-02 |
| Eutroph.-Potential (terrest.)                     | kg PO <sub>4</sub> | 2,07E-01                      | -3,92E-03  | 2,03E-01 | 2,44E-01                   | -8,66E-04  | 2,43E-01 |
| Eutroph.-Potential (aquat.)                       | kg PO <sub>4</sub> | 3,74E-01                      | -1,28E-07  | 3,74E-01 | 4,46E-01                   | -1,24E-11  | 4,46E-01 |
| Eutroph.-Potential (gesamt)                       | kg PO <sub>4</sub> | 5,81E-01                      | -3,92E-03  | 5,77E-01 | 6,89E-01                   | -8,66E-04  | 6,88E-01 |
| <b>Ozonbildung</b>                                |                    |                               |            |          |                            |            |          |
| Klassifizierung                                   |                    |                               |            |          |                            |            |          |
| Acetylen (L)                                      | kg                 | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Benzol (L)                                        | kg                 | 2,62E-03                      | -8,13E-06  | 2,61E-03 | 3,29E-03                   | -          | 3,29E-03 |
| Ethanol (L)                                       | kg                 | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethoxipropanol (L)                                | kg                 | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethylacetat (L)                                   | kg                 | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethylen (L)                                       | kg                 | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Formaldehyd (L)                                   | kg                 | 8,87E-03                      | -2,62E-05  | 8,84E-03 | 1,12E-02                   | -          | 1,12E-02 |
| Methan (L)                                        | kg                 | 1,06E+00                      | -3,54E-02  | 1,02E+00 | 1,42E+00                   | -2,33E-02  | 1,40E+00 |
| Propan (L)                                        | kg                 | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| NMVOC aus Dieselemis. (L)                         | kg                 | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| NMVOC unspez. (L)                                 | kg                 | 1,34E-01                      | -1,57E-03  | 1,32E-01 | 1,72E-01                   | -8,45E-04  | 1,71E-01 |
| VOC unspez. (L)                                   | kg                 | 7,92E-03                      | -          | 7,92E-03 | 6,81E-03                   | -          | 6,81E-03 |
| NMVOC (Kohlenwasserstoffe) (L)                    | kg                 | 4,29E-03                      | -3,09E-05  | 4,26E-03 | 4,06E-03                   | -          | 4,06E-03 |
| VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)                      | kg                 | 7,37E-01                      | -          | 7,37E-01 | 6,93E-01                   | -          | 6,93E-01 |
| Charakterisierung                                 |                    |                               |            |          |                            |            |          |
| Acetylen                                          | kg Ethen           | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Benzol                                            | kg Ethen           | 4,95E-04                      | -1,54E-06  | 4,93E-04 | 6,23E-04                   | -          | 6,23E-04 |
| Ethanol                                           | kg Ethen           | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethoxipropanol                                    | kg Ethen           | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethylacetat                                       | kg Ethen           | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethylen                                           | kg Ethen           | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |

|                                     | Einheit  | ENZYMATISCHES WEICHEN/ÄSCHERN |            |          | CHEMISCHES WEICHEN/ÄSCHERN |            |          |
|-------------------------------------|----------|-------------------------------|------------|----------|----------------------------|------------|----------|
|                                     |          | Brutto                        | Gutschrift | Netto    | Brutto                     | Gutschrift | Netto    |
| Formaldehyd                         | kg Ethen | 3,73E-03                      | -1,10E-05  | 3,72E-03 | 4,73E-03                   | -          | 4,73E-03 |
| Methan                              | kg Ethen | 7,40E-03                      | -2,48E-04  | 7,15E-03 | 9,95E-03                   | -1,63E-04  | 9,79E-03 |
| Propan                              | kg Ethen | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| NMVOC aus Dieselemis.               | kg Ethen | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| NMVOC un spez.                      | kg Ethen | 5,75E-02                      | -6,64E-04  | 5,69E-02 | 7,33E-02                   | -3,52E-04  | 7,30E-02 |
| VOC un spez.                        | kg Ethen | 2,81E-01                      | -          | 2,81E-01 | 2,64E-01                   | -          | 2,64E-01 |
| POCP                                | kg Ethen | 3,50E-01                      | -9,25E-04  | 3,49E-01 | 3,52E-01                   | -5,15E-04  | 3,52E-01 |
| <b>Humantoxizität</b>               |          |                               |            |          |                            |            |          |
| Klassifizierung = Charakterisierung |          |                               |            |          |                            |            |          |
| Benzo(a)paren (L)                   | kg       | 3,30E-07                      | -7,92E-10  | 3,29E-07 | 3,44E-07                   | -          | 3,44E-07 |
| Blei (L)                            | kg       | 8,92E-06                      | -4,10E-09  | 8,91E-06 | 8,37E-06                   | -          | 8,37E-06 |
| Cadmium (L)                         | kg       | 3,95E-06                      | -8,24E-10  | 3,95E-06 | 4,81E-06                   | -          | 4,81E-06 |
| Dieselpartikel (L)                  | kg       | 3,21E-02                      | -2,09E-04  | 3,19E-02 | 4,16E-02                   | -          | 4,16E-02 |
| Kohlenmonoxid (L)                   | kg       | 3,15E+00                      | -1,68E-02  | 3,13E+00 | 3,07E+00                   | -2,67E-03  | 3,06E+00 |
| PAH (L)                             | kg       | 2,33E-06                      | -2,54E-09  | 2,33E-06 | 2,48E-06                   | -          | 2,48E-06 |
| Schwefeloxide (L)                   | kg       | 1,21E+00                      | -6,51E-03  | 1,21E+00 | 1,68E+00                   | -2,72E-04  | 1,68E+00 |
| Staub (L)                           | kg       | 5,57E-01                      | -2,24E-03  | 5,55E-01 | 7,01E-01                   | -1,17E-04  | 7,01E-01 |
| TRS (L)                             | kg       | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| <b>Ökotoxizität</b>                 |          |                               |            |          |                            |            |          |
| Klassifizierung = Charakterisierung |          |                               |            |          |                            |            |          |
| Ammoniak (L)                        | kg       | 1,17E-02                      | -3,66E-03  | 8,05E-03 | 1,58E-02                   | -2,12E-10  | 1,58E-02 |
| Chloride (L)                        | kg       | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Fluorwasserstoff (L)                | kg       | 9,74E-04                      | -1,90E-06  | 9,73E-04 | 1,10E-03                   | -9,19E-07  | 1,10E-03 |
| Schwefeldioxid (L)                  | kg       | 1,21E+00                      | -6,51E-03  | 1,21E+00 | 1,68E+00                   | -2,72E-04  | 1,68E+00 |
| Schwefelwasserstoff (L)             | kg       | 8,33E-05                      | -2,25E-07  | 8,30E-05 | 6,67E-05                   | -1,79E-07  | 6,65E-05 |
| Stickoxide (L)                      | kg       | 1,56E+00                      | -2,04E-02  | 1,54E+00 | 1,83E+00                   | -6,66E-03  | 1,83E+00 |
| TRS (L)                             | kg       | -                             | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ammonium (W)                        | kg       | 6,42E-02                      | -3,62E-07  | 6,42E-02 | 7,34E-02                   | -          | 7,34E-02 |
| AOX (W)                             | kg       | 4,79E-03                      | -3,49E-11  | 4,79E-03 | 6,00E-03                   | -9,92E-15  | 6,00E-03 |
| Blei (W)                            | kg       | 1,43E-04                      | -7,53E-08  | 1,43E-04 | 1,79E-04                   | -          | 1,79E-04 |
| Chlorid (W)                         | kg       | 6,08E+00                      | -1,37E-05  | 6,08E+00 | 9,69E+00                   | -          | 9,69E+00 |
| Chrom (W)                           | kg       | 1,55E-04                      | -3,08E-09  | 1,55E-04 | 1,39E-04                   | -          | 1,39E-04 |
| Fluorid (W)                         | kg       | 2,40E-04                      | -3,33E-08  | 2,40E-04 | 1,89E-04                   | -          | 1,89E-04 |
| Halogene KW (W)                     | kg       | 2,16E-11                      | -2,47E-14  | 2,16E-11 | 2,48E-11                   | -          | 2,48E-11 |
| PAH (W)                             | kg       | 2,52E-12                      | -2,88E-15  | 2,51E-12 | 2,89E-12                   | -          | 2,89E-12 |
| sonstige KH (W)                     | kg       | 7,35E-04                      | -2,61E-10  | 7,35E-04 | 2,44E-04                   | -          | 2,44E-04 |
| Sulfid (W)                          | kg       | 4,05E-04                      | -2,24E-10  | 4,05E-04 | 3,41E-04                   | -          | 3,41E-04 |
| Zink (W)                            | kg       | 4,92E-05                      | -4,38E-09  | 4,92E-05 | 4,38E-05                   | -          | 4,38E-05 |
| Zinn (W)                            | kg       | 9,42E-09                      | -1,08E-11  | 9,41E-09 | 1,08E-08                   | -          | 1,08E-08 |



### **3 Anhang zum Produktvergleich 2 - Tierproduktion unter Einsatz von Probiotika und Seltenen Erden**

#### **3.1 Leistungsförderer im Überblick**

Mit Unterstützung der Fachverbände (BfT - Bundesverband für Tiergesundheit e.V., FEDESA - Fédération Européenne de la Santé Animale, IFAH - International Federation for Animal Health) erfolgten Recherchen zu am Markt etablierten Leistungsförderern, deren Wirkungsweise, Leistungspotential und Herstellungsweise.

##### **3.1.1 Antibiotische Leistungsförderer (Fütterungsantibiotika)**

Antibiotika sind Substanzen, die schon in geringen Konzentrationen das Wachstum von Mikroorganismen negativ beeinflussen, wobei zwischen bakteriostatischer (= hemmende) und bakterizider (= abtötende) Wirkung unterschieden wird. Antibiotika können biologischen Ursprungs sein oder halb- bzw. vollsynthetisch hergestellt werden. Im Gegensatz zu Antibiotika, die als zugelassene Arzneimittel den Beschränkungen des Arzneimittelgesetzes unterliegen, werden Leistungsförderer in deutlich geringerer als der therapeutischen Konzentration ("nutritive" Dosierung) eingesetzt. Sie unterliegen damit den Bestimmungen des Futtermittelrechts.

Bereits in den 40er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurden bei der Verfütterung von Antibiotika an Hühner leistungssteigernde Effekte im Bereich von 10 - 15 Prozent festgestellt. Der Futteraufwand verminderte sich um 5 – 6 Prozent (Moore et al., 1946). Das Leistungspotential hängt unter anderem von der Tierart, dem Tieralter und der Rationsgestaltung ab, weshalb in der Literatur divergierende Angaben zum Leistungspotential der Fütterungsantibiotika zu finden sind.

Losand (2000) berichtet von einer Verbesserung der Gewichtszunahmen von Ferkeln um 5 bis 10 %, von Mastschweinen um 0 bis 5 %. Nach Flachowsky und Schulz (1998) liegen die zu erzielenden Steigerungsraten entsprechend bei im Mittel 9,4 bis 3,0 %.

Der Wirkungsmechanismus ist bis heute noch nicht endgültig geklärt. Diskutiert wird ein Einfluss auf die Darmflora mit Unterdrückung schädlicher und toxinbildender Keime und die Begünstigung nützlicher Keime, wodurch eine verbesserte Nährstoffaufnahme erreicht wird.

Vor allem wegen der möglichen Resistenzbildung von Bakterien hat die Akzeptanz für solche Stoffe in den letzten Jahren stetig abgenommen. Die vier derzeit noch zugelassenen Fütterungsantibiotika (Avilamycin, Flavophospholipol, Salinomycin-Natrium, Monensin-Natrium) werden nach derzeitigen Stand der EU-Bestimmungen bis spätestens Januar 2006 ihre Zulassung verlieren (DGS, 2002).

Tabelle 3-1: Derzeit noch zugelassene Fütterungsantibiotika (Schneider-Böttcher, 2001)

| Wirkstoff           | Handelsname | Tierkategorie                                                   |
|---------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------|
| Avilamycin          | Maxus       | für Ferkel, Mastschweine                                        |
| Flavophospholipol   | Flavomycin  | für Legehennen, Puten, Ferkel, Mastschweine, Kälber, Mastrinder |
| Salinomycin-Natrium | Salocin     | für Ferkel, Mastschweine                                        |
| Monensin-Natrium    | Rumensin    | für Mastrinder                                                  |

Die Herstellung der vier zur Zeit noch zugelassenen Fütterungsantibiotika erfolgt fermentativ. Lediglich die bis zum Jahr 1999 zugelassenen Produkte „Olaquinox“ (Markenname „Bayo-N-Ox“ der Bayer AG) und Carbadox (Markenname Mecadox, der Fa. Pfizer) wurden synthetisch hergestellt. Die Zulassung wurde aus Gründen des vorbeugenden Anwendungsschutzes entzogen (Losand, 2000).

Tabelle 3-2: Herstellungsweise von antibiotischen Leistungsförderern

| Produktbezeichnung             | Hersteller                                                   | Biotechnologischer Verfahrensschritt                      | Chemisch-technischer Verfahrensschritt                                                             |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Salinomycin-Natrium (Salocin)  | Intervet, Unterschleißheim                                   | Herstellung durch mikrobielle Fermentation (Roempp, 1989) | Sprühtrocknung der Kulturbrühe zum Wasserentzug sowie Zugabe verschiedener technischer Hilfsmittel |
| Flavophospholipol (Flavomycin) | Intervet, Unterschleißheim                                   | Herstellung durch mikrobielle Fermentation (Roempp, 1989) |                                                                                                    |
| Avilamycin (Maxus)             | Elanco Animal Health c/o Lilly Deutschland GmbH, Bad Homburg | Herstellung durch mikrobielle Fermentation (Roempp, 1989) | Chemische Aufbereitung                                                                             |
| Monensin-Natrium (Rumensin)    | Elanco Animal Health c/o Lilly Deutschland GmbH, Bad Homburg | Herstellung durch mikrobielle Fermentation (Roempp, 1989) | Chemische Aufbereitung                                                                             |

| Produktbezeichnung    | Hersteller                                                  | Biotechnologischer Verfahrensschritt | Chemisch-technischer Verfahrensschritt              |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Olaquinox             | Bayer AG, Leverkusen<br>(seit 1.9.99 nicht mehr zugelassen) | -                                    | Chemische Herstellung<br>(Schneider-Böttcher, 2001) |
| Carbadox<br>(Mecadox) | Pfizer, Karlsruhe<br>(seit 1.9.99 nicht mehr zugelassen)    | -                                    | Chemische Herstellung<br>(Schneider-Böttcher, 2001) |

### 3.1.2 Probiotische Leistungsförderer (Probiotika)

Probiotika<sup>7</sup> sind im Gegensatz zu den Antibiotika keine toxisch wirkenden Stoffwechselprodukte von lebenden Zellen, sondern selbst lebende Mikroorganismen, die aufgrund ihrer Eigenschaften mit anderen unerwünschten Mikroorganismen konkurrieren können und auf diese Weise regulativ in die Darmfloraentwicklung eingreifen und sie stabilisieren (Losand, 2000). Im deutschen Futtermittelrecht werden Probiotika als „mikrobielle Zusatzstoffe zur Stabilisierung der Darmflora“ bezeichnet. Sie dienen der Erhaltung und Wiederherstellung der Eubiose, des ausgewogenen Gleichgewichtszustandes zwischen Magen-Darm-Flora und Wirtsorganismus (Schneider-Böttcher, 2001). Die häufigsten in der Praxis anzutreffenden Probiotikastämme zählen entweder zu den Milchsäurebakterien (Lactobacilli, Streptococci/Enterococci, Bifidobacteria) oder zu den Sporenbildnern (Bacilli). Des weiteren kommen auch Hefen zum Einsatz (Laun et al., 2003; AWT, 1999).

Tabelle 3-3: Probiotika und deren Hersteller

| Produkt   | Firma                | Anmerkungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aviguard® | Bayer AG, Leverkusen | Aviguard® entstammt er natürlichen Darmflora von SPF-Hühnern und wird durch Fermentation hergestellt. Es ist ein gefriergetrocknetes, wasserlösliches Pulver, welches die natürliche normale Darmflora aufbauen, erhalten oder wiederherstellen kann. Zielspezies sind Huhn und Trute (N.N., 1998). Da das Produkt Aviguard® aufgrund seiner spezifischen Produkteigenschaften und den Anforderungen der Zulassungsbehörden bis jetzt in Deutschland nicht zugelassen ist, befindet es sich in einer internen Bewertung der Bayer AG hinsichtlich seiner einheitlichen Vermarktung (Bayer, 2003). |

<sup>7</sup> griechisch: für das Leben

| Produkt      | Firma                                                         | Anmerkungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Broilact®    | Orion Pharma, Turku, Finnland                                 | <p>Präparat einer ausgewählten Mikroflora, wie sie normalerweise im Darm ausgewachsenen Geflügels vorhanden ist. Bei dem Produkt handelt es sich um gefriergetrocknete Bakterien (normale Hühner-Darm-Flora), für den schnellen Aufbau und die Entwicklung einer gesunden Mikroflora im Darm von Hühnern und Truten sorgen sollen. Broilact® dient zusätzlich auch zur Vorbeuge gegen Infektionskrankheiten (N.N., 1997).</p> <p>Der Hersteller Orion Pharma reagierte nicht auf Anfrage, so dass eine Beteiligung am Projekt von vornherein nicht zustande kam.</p> |
| Oralin®      | Chevita GmbH, Pfaffenhofen                                    | <p>Oralin® enthält vermehrungsfähige milchsäurebildende Bakterien vom Stamm <i>Enterococcus faecium</i> (DSMZ 10663 NCIMB 10415). Sie sind Bestandteil der natürlichen Darmflora von Mensch und Tier. Sie sorgen für die Stabilisierung einer physiologischen Darmflora, wodurch die tierischen Leistungen gesteigert werden. Oralin ist bestimmt zum Einsatz in der Fütterung von Kälbern, Ferkeln, Masthühnern, Hunden und Katzen (Chevita, 2003).</p>                                                                                                             |
| Toyocerin    | Lohmann Animal Health, Cuxhaven                               | <p>TOYOCERIN® ist ein Futtermittelzusatzstoff, der lebende Sporen des Mikroorganismus <i>Bacillus cereus</i> var. <i>toyoi</i> enthält und zur Stabilisierung der Darmflora bei Ferkeln, Sauen, Kälbern, Mastrindern, Geflügel und Kaninchen eingesetzt wird (Lohmann, 2003).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| PREEMPT®     | U.S. Department of Agriculture and Bio-Science, Illinois, USA | <p>Das Präparat PREEMPT nutzt die Wirkung einer Mischung von 29 verschiedenen lebenden, harmlosen Bakterienkulturen aus dem Darm ausgewachsener Hühner. Das Produkt kommt bei Küken und Hühnern zum Einsatz, hauptsächlich um Salmonellenkontaminationen zu eliminieren oder zu reduzieren (ARS, 1998).</p>                                                                                                                                                                                                                                                          |
| miturat® DF  | Essex Tierarznei, München                                     | <p>miturat® DF ist ein Ergänzungsfuttermittel für Kälber zur Rehydrierung bei Durchfall, zur Versorgung mit Elektrolyten, basisch wirkenden Puffersubstanzen, probiotischen Bakterien sowie Schleim- und Quellstoffen. Es enthält keine Antibiotika.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Cylactin LBC | Roche Vitamine GmbH, Basel, Schweiz                           | <p>Cylactin LBC enthält ein Konzentrat von getrockneten, lebenden Milchsäurebakterien vom Stamm <i>Enterococcus faecium</i> Cernelle 68 (SF 68). Cylactin ist als Granulat und neuerdings auch in mikroverkapselter Formulierung erhältlich. Die vermehrungsfähigen Keime stabilisieren die Darmflora und fördern somit die Gesundheit und Leistung des Tieres. Das Produkt ist für den Einsatz bei Schweinen, Rindern und Geflügel zugelassen (Roche Vitamine GmbH, 2002).</p>                                                                                      |

Bei monogastrischen Nutztieren werden vorwiegend Milchsäurebakterien und Sporenbildner eingesetzt. Produkte aus Hefen werden bei Monogastriern und im Wiederkäu-

erbereich mit Erfolg eingesetzt. Da sich diese Keime nicht auf Dauer im Darm von Nutztieren ansiedeln, müssen sie dem Futter kontinuierlich zugesetzt werden, damit sie ihre vollen, reproduzierbaren Effekte erzielen können. Die Wirkungen der Probiotika umfassen eine verbesserte Überlebensrate neugeborener Tiere, Verringerung oder Verhinderung von Durchfallerkrankungen, verbessertes Wachstum und verbesserte Futterverwertung (Schneider-Böttcher, 2001).

Tabelle 3-4: Einfluss der drei zugelassenen Probiotika auf die Lebendmassezunahme von Ferkeln und Mastschweinen unter Berücksichtigung neuerer Ergebnisse (nach 1980) aus Deutschland (nach Freitag et al., 1998)

| Substanz                                  | Mehrzunahmen Ferkel <sup>*)</sup> | Mehrzunahmen Mastschwein <sup>*)</sup> |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| Bacillus-Arten                            | 3,6                               | 4,6                                    |
| Milchsäurebakterien                       | 5,2                               | 4,5                                    |
| Hefen ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) | 0,2                               | 1,2                                    |

<sup>\*)</sup> in % zur Kontrolle

Zur Zeit werden Probiotika entweder als einzelne mikrobielle Additiva oder in Kombination mit anderen Substanzen (z. B. Fütterungssäuren) eingesetzt. Auch eine Kombination verschiedener Probiotika, z. B. Lebendhefen mit Milchsäurebakterien, zeigte in der Sauen- und Ferkelfütterung positive Wirkung (Holl, 2000).

Im Unterschied zu antibiotischen Leistungsförderern, die direkt auf ungünstige Darmkeime einwirken, entfalten die Probiotika ihre Wirkung auf indirektem Wege. Durch Stärkung der positiven Darmflora werden ungünstige Darmkeime verdrängt. Dies erklärt auch, warum ihre Wirkung nicht spontan, sondern erst nach einem längeren Zeitraum der Verfütterung erwartet werden kann. Dabei besteht eine wesentliche Voraussetzung zur Erzielung der gewünschten Wirkungseffekte darin, dass dem Tier relativ hohe Keimzahlen von einigen hunderttausend bis Millionen je Gramm Futter in einem noch lebensfähigen Zustand kontinuierlich zugeführt werden.

Die Leistungsförderung durch Probiotika erreicht zwar nicht das Niveau der Fütterungsantibiotika, jedoch werden positive Wirkungen bei Sauen, Ferkeln und Kälbern beschrieben (Kreuzer und Zerhusen, 1995; Durst u. a., 1998; Losand, 2000; Merkel, 2000). Ein weiterer Vorteil der Probiotika gegenüber den Fütterungsantibiotika ist die größere Akzeptanz beim Verbraucher (Schneider-Böttcher, 2001).

### 3.1.3 Organische Säuren und deren Salze

Die antimikrobielle Wirkung organischer Säuren wird seit Jahrzehnten zur Futterkonservierung genutzt. Organische Säuren, hauptsächlich solche, die im Verdauungstrakt als auch im natürlichen Stoffwechsel des Tieres gebildet werden, sind auch futtermittelrechtlich als Futterzusatzstoff zugelassen.

Organische Säuren können in reiner Form als auch im Gemisch mit anderen Säuren sowie als Gemisch von Säuren mit Öl (in mehlartige Produkte besser einmischbar) appliziert werden (Losand, 2000).

Die Dosierung der organischen Säuren liegt im Bereich von 0,6 bis über 2 %, je nach Säureart und Anwendungsbereich (Schneider-Böttcher, 2001).

Mit organischen Säuren und deren Salzen als Futterzusatzstoffe können auch in Abhängigkeit von ihrer Dosierung z.T. beträchtliche und sichere Leistungssteigerungen vor allem in der Ferkelaufzucht (Zuwachs bis +20 %, Futterverzehr bis +9 %, Futteraufwand bis -10 %) erreicht werden. Ihre Akzeptanz beim Verbraucher ist groß. Probleme können allerdings der manchmal beeinträchtigte Futterverzehr, die Handhabung und die nicht unbeträchtlichen Kosten bereiten (Losand, 2000). Von der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht wird das Leistungspotential der organischen Säuren geringer eingestuft. Bei Ferkeln wird mit Mehrzunahmen von 6 bis 8 % und einem um 3 bis 4 % verringerten Futteraufwand gerechnet. In der Schweinemast entsprechend 2 bis 3 % Mehrzunahmen und 1 bis 2 % weniger Futteraufwand (BLT, 2003).

Besonders effektiv ist die Säurewirkung auf die Magenfunktion bei Jungtieren. Es ist bekannt, dass die Salzsäure-Produktion im Magen in den ersten Lebenswochen für eine störungsfreie Verdauung nicht ausreicht. Dadurch wird das Wirkungsoptimum des Enzyms Pepsin zur Proteinspaltung ebenso wenig erreicht, wie eine wirksame Bakterienenschanke gegen die mit dem Futter aufgenommenen Keime mit der Folge einer Vermehrung von unerwünschten Keimen in den vorderen Darmabschnitten.

Die Zufuhr von Säuren über das Futter kann sich positiv in Richtung pH-Wert-Absenkung im Magen auswirken. Dadurch werden die Verdauungsvorgänge insgesamt günstig beeinflusst und eine zu starke Bakterienentwicklung verhindert. Dies führt nicht nur zu verbesserter Wachstumsleistung, sondern auch zu einer Verringerung der Durchfallhäufigkeit (Schneider-Böttcher, 2001).

Drei Wirkungsbereiche organischer Säuren und ihrer Salze werden nach Losand (2000) unterschieden:

- im Futter: Die Absenkung des pH-Wertes und der Säurebindungskapazität bewirkt einen antimikrobiellen Effekt (gegen Bakterien, Hefen, Pilze).
- im Verdauungstrakt: Durch die Ansäuerung des Verdauungsbreis bei Säureeinsatz ergibt sich eine pH-Wert-Absenkung des Mageninhaltes. Die Unterstützung der Aktivierung des Pepsinogens zu Pepsin fördert die Proteinverdauung. Aus dem Darm aufsteigende Mikroorganismen werden zurückgedrängt. Die Säure-Anionen bilden Komplexe mit kationischen Mengen- und Spurenelementen, was zu höherer Verdaulichkeit dieser Elemente führen kann. Der Keimgehalt im Dünndarm wird gesenkt, dadurch verringert sich auch der bakterielle Nährstoffabbau sowie die Schadstoffbildung.
- im Stoffwechsel: Die meisten organischen Säuren haben einen beträchtlichen Energiegehalt (Propionsäure z.B. 20,7 MJ ME, Ameisensäure 5,6 MJ ME), der komplett verstoffwechselt wird und somit in die Energieberechnung der Ration einbezogen werden kann.

#### 3.1.4 Seltene Erden

Als Seltene Erden bzw. Seltenerdelemente oder Seltenerdmetalle wird eine Gruppe von 17 chemisch sehr ähnlichen Elementen verstanden. Es sind dies die Elemente Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium. Für Lanthan und die folgenden Elemente bis Lutetium ist auch die Bezeichnung Lanthanoide eingeführt.

Neben hauptsächlich technischen Anwendungen werden Seltene Erden bereits seit Jahrzehnten in China u.a. wegen ihrer leistungssteigernden Wirkung in der Düngung und der Tierernährung eingesetzt, währenddessen diese Möglichkeit in Europa lange unbeachtet blieb.

Zum Leistungspotential der Seltenen Erden-Produkte sind zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden, deren Ergebnisse stark divergieren. Das Leistungspotential unterliegt tierart- und tieralterspezifischen Unterschieden und hängt insbesondere vom Gesundheits- und Hygienestatus der Tiere, der Rationsgestaltung und weiteren Faktoren ab. Zusammenfassend reicht das Leistungspotential von keinerlei Wirkung bei einzelnen westlichen Untersuchungen (Schuller, 2001; Schuller et al., 2002; Böhme et al.,

2002) bis hin zu Steigerungen der Wachstumsleistungen bei Schwein und Huhn bis zu 30 Prozent entsprechend chinesischer Untersuchungen (Chen, 1997).

Untersuchungen der tierärztlichen Fakultät der Münchner Ludwig-Maximilian-Universität (LMU) bestätigen mittlerweile positive, leistungssteigernde Effekte bei Einsatz Seltener Erden in der Tierernährung nicht nur im Versuchsbetrieb, sondern auch im Feldversuch (Rambeck et al., 1999; Eisele, 2003; Rambeck, 2004a).

Über den Wirkungsmechanismus der Seltenen Erden in der Tierernährung ist wenig bekannt. Die FAL geht nach ihren Versuchen davon aus, dass die leistungsverbessernde Wirksamkeit nicht auf einer Steigerung der Nährstoffverdaulichkeit beruht, sondern eine höhere Ausnutzung der umsetzbaren Energie erfolgen kann (Böhme et al., 2002).

In China sind unterschiedliche Handelsprodukte für verschiedene Anwendungszwecke erhältlich, die aber wegen der fehlenden Zulassung auf dem europäischen Markt nicht eingesetzt werden dürfen. Eine begrenzte Zulassung für den Schweizer Markt besteht allerdings für das Produkt Lancer®, dessen Zulassung für den gesamteuropäischen Markt sich zur Zeit in Vorbereitung befindet.

Die Seltenen Erden werden zum allergrößten Teil in China, in der Inneren Mongolei, bergmännisch im Tagebau, teilweise als Beiprodukt der Eisenerzgewinnung, abgebaut und dann physikalisch, thermisch und chemisch zum Anwendungsprodukt aufbereitet. Auch wenn es sich bei den Seltenen Erden um ein bodenbürtiges Produkt handelt, so ist doch die chemisch-technische Aufbereitung der entscheidende Veredelungsprozess in der Wertschöpfungskette.

### 3.1.5 Prebiotika

Prebiotika sind spezifische, unverdaubare Stoffe, die Nahrungsmitteln zugesetzt werden, um die Stoffwechseltätigkeit bestimmter Mikroorganismen des Darmtraktes zu aktivieren (Proviantfunktion). Hierzu werden zum Beispiel unverdauliche Zucker (Fructo-Oligosaccharide), entweder allein oder in Kombination mit Mikroorganismen, die diese Zucker verwerten können, eingesetzt (z. B. *Pediococcus acidilactici*, Handelsname Bactocell PA). Der Einsatz von Oligosacchariden zur positiven Beeinflussung der intestinalen Mikroflora stellt eine Alternative zum Einsatz von Mikroorganismen (Probiotika) dar. Anstelle einer Zufuhr von lebenden Mikroben tritt eine spezifische Förderung

der bereits im Gastro-Intestinaltrakt anwesenden günstigen Bakterien. Als Hauptprodukte der Fermentation im Darm entstehen kurzkettige Fettsäuren, wie Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure. Diese können vom Wirtsorganismus verstoffwechselt werden und stehen als Energiequelle zur Verfügung. Die Menge und die Verteilung der gebildeten Freien Fettsäuren (FFS) sind von der Art der eingesetzten Oligosaccharide abhängig. Die aus der Bildung der FFS ebenfalls resultierende pH-Wert-Senkung im Darm schafft ungünstige Bedingungen für potentiell pathogene Mikroorganismen, wie *E. coli*, Salmonellen und Clostridien, die diese Zucker nicht verwerten können. Der Hauptfermentationsort ist bei den einzelnen Oligosacchariden unterschiedlich, je länger die Molekülketten, desto weiter hinten im Darmtrakt werden sie verstoffwechselt. Der Einsatz von Oligosacchariden kann die Zunahmen erhöhen und den Futteraufwand verringern (Bolduan, 1998). Miguel et al. (2002) fand bei der Analyse von 24 Versuchen mit Mannan-oligosaccharose-Einsatz beim Saugferkel im Durchschnitt eine um 4 % erhöhte tägliche Körpergewichtszunahme und eine um 2,4 % verbesserte Futterverwertung. Bei Absatzferkel wurde hingegen nur ein begrenzter Effekt gesehen.

### 3.1.6 Enzyme

Der Einsatz von Enzymen als Futterzusatzstoff ist auf einen verbesserten Aufschluss (Verfügbarmachung) der im Futter enthaltenen Nährstoffe gerichtet. Hierbei geht es vor allem um den pflanzlich gebundenen Phosphor (Einsatz von Phytase) und quellfähige Kohlenhydrate (Einsatz von  $\beta$ -Glukanasen, Xylanasen, Pentosanasen, Pektinasen), die vor allem vom jungen Schwein schwer verdaut werden und die Passagegeschwindigkeit des Verdauungsbreis erhöhen und damit die Futterausnutzung verringern. Der Einsatz von Phytase zur Erhöhung der Phosphorverdaulichkeit und Senkung der P-Ausscheidungen ist inzwischen Standard bei den Mischfutterherstellern (Losand, 2000).

Die benötigte Enzymmenge ist gering, da Enzyme während der katalysierten Reaktion nicht verbraucht werden. Im Verdauungstrakt werden sie allerdings wie andere Eiweiße verdaut und müssen deshalb ständig dem Futter zugesetzt sein (Schneider-Böttcher, 2001). In der Ferkelaufzucht werden je nach Art der Futterration Mehrzunahmen zwischen 4,2 und 10,5 % und eine Verbesserung des Futteraufwandes um 1,7 bis 7,4 % erreicht. In der Endmast liegen die täglichen Zunahmen noch um 3,3 bis 5,1 % höher, bei einer um 2,4 bis 3,3 % verbesserten Futterverwertung (Haberer und Schulz, 1998).

### 3.1.7 Futterzusätze pflanzlichen Ursprungs (Kräuter und Kräuterextrakte)

Phytogene Stoffe genießen beim Verbraucher schon wegen ihrer jahrhundertelangen Verwendung in der so genannten ‚Hausmedizin‘ eine sehr hohe Akzeptanz. Die antimikrobielle (antibakteriell, bakteriostatisch, virusstatisch) Wirkung einiger ätherischer Öle für den Humanbereich ist bereits Ende der 80er Jahre durch das damalige Bundesgesundheitsamt anerkannt worden. Dazu zählen Dillöl, Kümmelöl, Zimt- bzw. Zimtrindenöl, Fenchelöl, Queckenwurzelstocköl, Pfefferminzöl und Salbeiöl.

Die ätherischen Öle regen den Appetit an und verändern die Sekretion von Verdauungssäften. Genereller Nachteil dieser Futterzusätze ist, dass die leistungssteigernden Effekte eine geringe Wiederholbarkeit aufweisen und die wirksamen Substanzen als auch der Wirkungsmechanismus wissenschaftlich nicht belegt sind (Losand, 2000).

### 3.1.8 Andere Futterzusätze

Es gibt weitere Substanzen deren Wirkung als leistungssteigernd belegt ist oder diskutiert wird. In diesem Zusammenhang sei auf den Einsatz von Immunstimulatoren/Immunmodulatoren sowie auf Zinkoxid- oder Kupferpräparate verwiesen (Losand, 2000). Weiterhin ist auch die leistungsfördernde Wirkung verschiedener Geschlechtshormone bekannt. Jedoch gilt mit Verabschiedung der EG-Richtlinie 85/648/EWG seit 1985 ein grundsätzliches Verbot sexualhormonwirksamer Substanzen in der Tierernährung (Hoffmann, 1996).

### **3.2 Graphische Darstellung der untersuchten Szenarien**



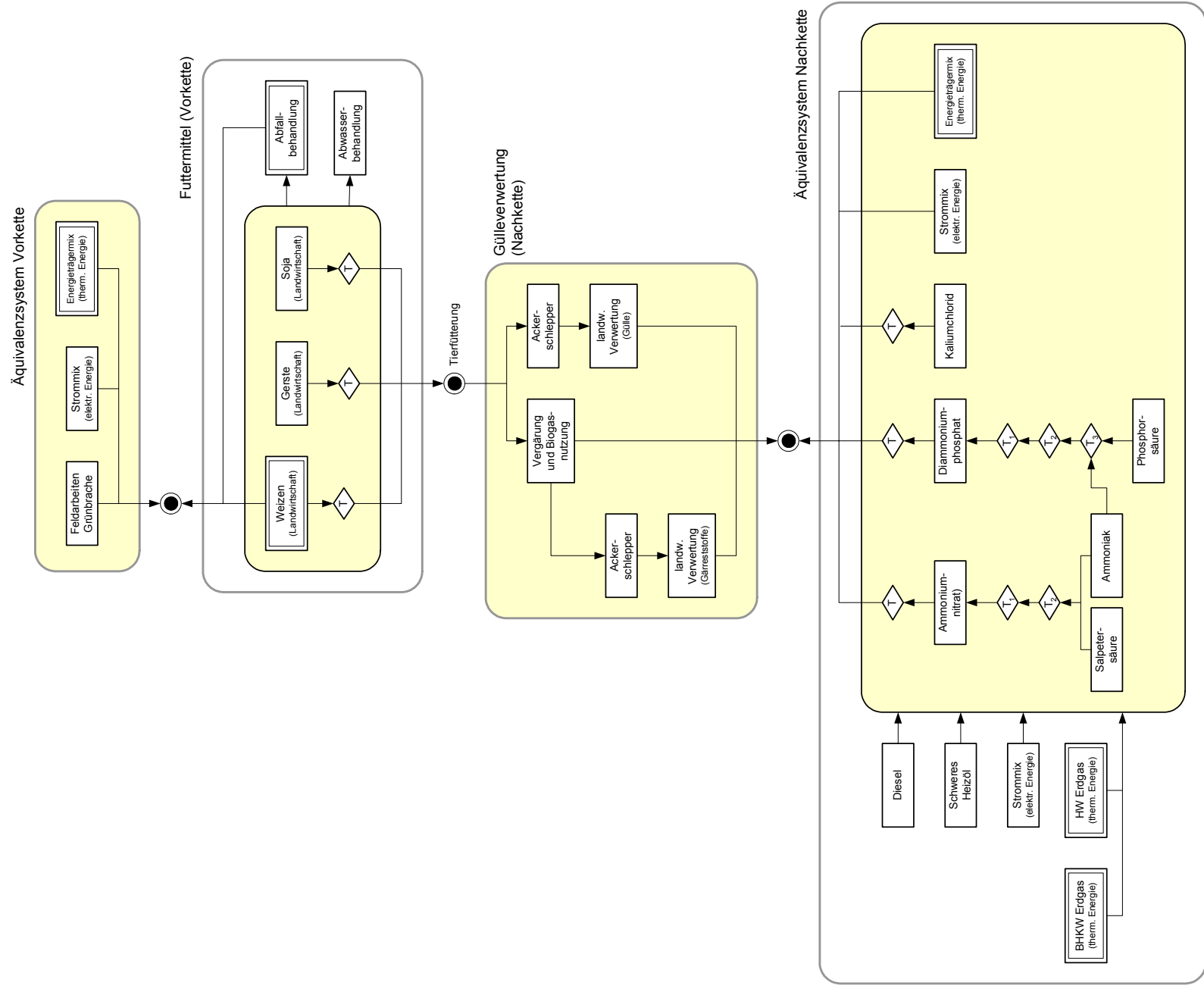


Abbildung 3-1: Szenario OHNE ZUSATZ - vollständiges Bilanzierungsmodell



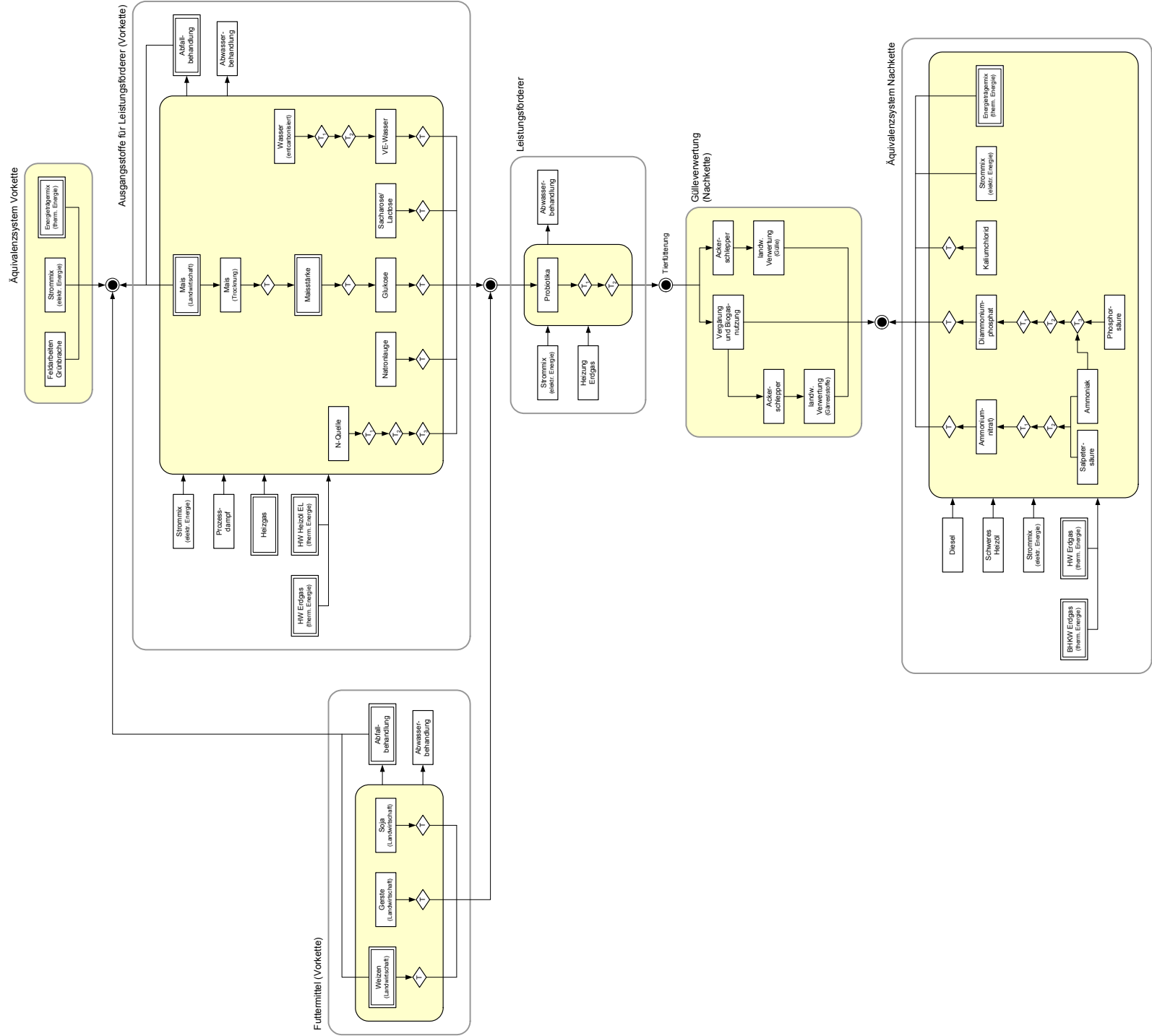


Abbildung 3-2: Szenario PROBIOTIKA - vollständiges Bilanzierungsmodell



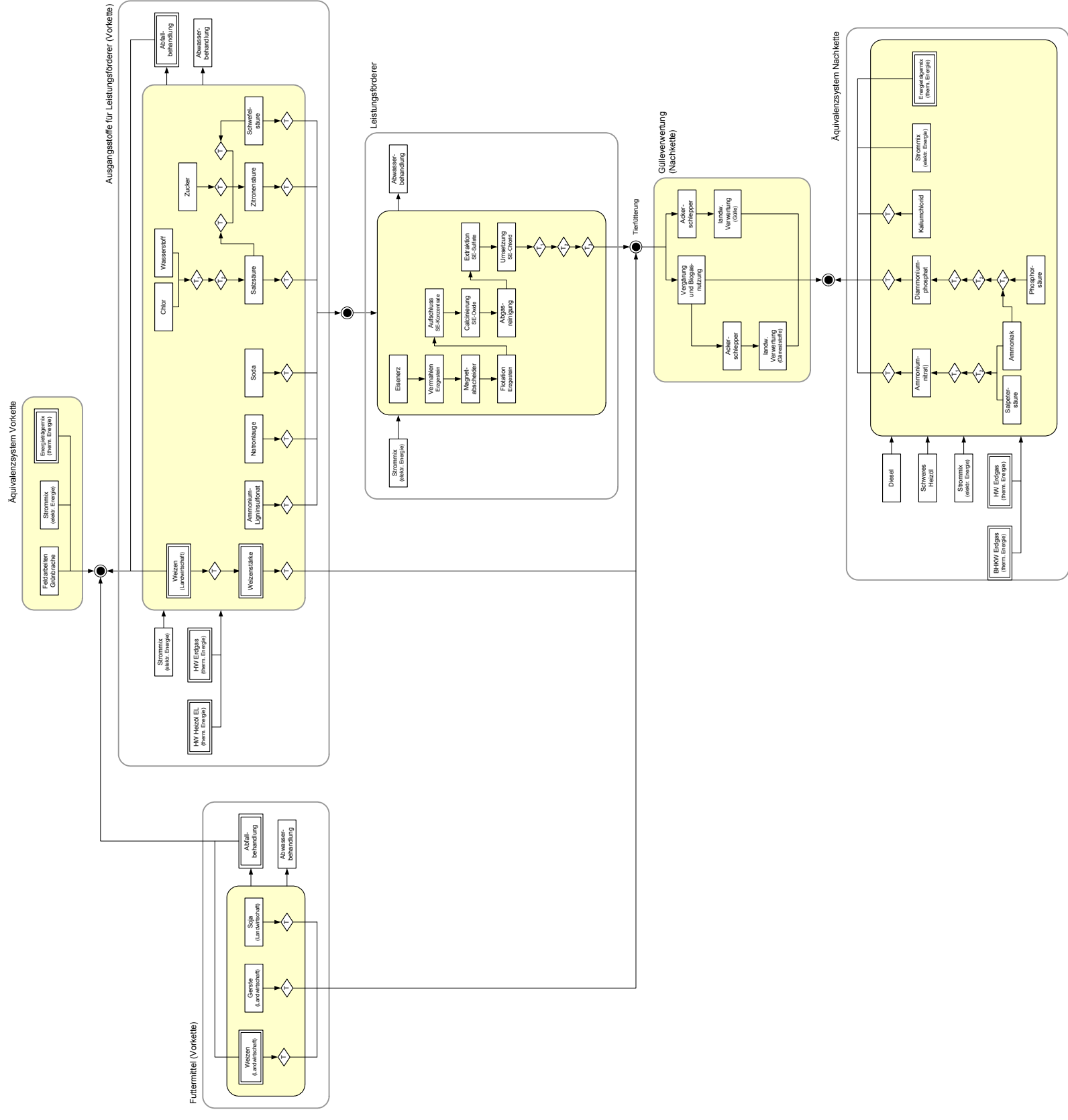


Abbildung 3-3: Szenario SELTENE ERDEN - vollständiges Bilanzierungsmodell



### 3.3 Datenherkunft und -qualität

Im Bericht (Modellspezifische Anmerkungen zur Systemgrenze) wurde der zeitliche und geographische Bezug der ökobilanziellen Betrachtung definiert, der mit den politischen Grenzen der Bundesrepublik Deutschland gleichgesetzt wurde. Es ist aber gleichzeitig darauf aufmerksam gemacht worden, dass erfahrungsgemäß ein Teil der für die Modellierung verwendeten Daten davon abweichen kann. Darüber hinaus wurde auch darauf hingewiesen, dass für verschiedene Prozesse Annahmen und Näherungen getroffen werden mussten, um Datenlücken und Unsicherheiten zu schließen.

Die unter diesen Randbedingungen aufgebauten Bilanzierungsmodelle sind im Bericht (Beschreibung der Bilanzierungsmodelle) in ihren Teilsystemen beschrieben sowie vollständig in Abbildung 3-1 bis Abbildung 3-3 dargestellt.

In Tabelle 3-5 sind die Module der Abbildungen und damit die für die Modellierung verwendeten Daten dokumentiert. Soweit entsprechende Informationen vorlagen, wurden die Daten bezüglich Datenherkunft, Literaturquellen, Bezugsjahr und Repräsentativität charakterisiert. Darüber hinaus beinhaltet die Tabelle Kurzbeschreibungen der Prozesse, der Annahmen, berücksichtigte Vorketten bzw. integrierte Module sowie Transporte soweit dies nicht durch Vertraulichkeitsvereinbarungen eingeschränkt wird.

Ausführliche Modulbeschreibungen können in den angegebenen Literaturquellen nachgelesen werden.

Tabelle 3-5: Dokumentation der Herkunft und Qualität der zur Bilanzierung verwendeten Daten

| Modul                          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                            | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Teilsystem Futtermittel</i> |                                                                                                              |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Gerste (Landwirtschaft)        | Datensatz aus der GEMIS-Datenbank basierend auf<br>- FAL (2000)                                              | Deutschland                      | Das Modul beschreibt den konventionellen Landbau mit einer Kombination aus synthetischer und hofeigener Düngung.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 3-6</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Weizen (Landwirtschaft)        | - Würdinger et al. (2002)                                                                                    | 90iger Jahre,<br>Deutschland     | Im Subnetz Weizen wird der konventionelle Anbau von Winterweizen mit den Arbeitsgängen Einarbeitung der Ernterückstände der Vorfrucht - Saatbettbereitung und Aussaat - Düngung und Pflanzenschutz - Ernte - Einarbeitung von Weizenstroh bilanziert. Weiter wird davon ausgegangen, dass die landwirtschaftliche Fläche, wenn kein Weizen angebaut wird, eine mit Weischem Weidelgras aktiv begrünte Brache ist. Die Aufwendungen für den Erhalt der Grünbrache werden dem System als Gutschrift angerechnet, da diese durch den Weizenanbau nicht notwendig sind (Würdinger et al., 2002).<br><i>Transport: vgl. Tabelle 3-6</i> |
| Soja (Landwirtschaft)          | Datensatz aus der GEMIS-Datenbank basierend auf<br>- Fritsche et al. (1994)<br>- IFEU (1991)<br>- UBA (1992) | USA                              | Das Modul beschreibt den Sojaanbau.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 3-6</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

<sup>8</sup> Die Kurzbeschreibungen fallen unterschiedlich ausführlich aus, was auf die mehr oder weniger detaillierte Dokumentation der Daten und Module in den Datenbanken und Bibliotheken zurückzuführen ist.

<sup>9</sup> Wenn keine Vorketten angegeben sind, handelt es sich meist um einen aggregierten Datensatz, d.h. die Herstellung von Ausgangsstoffen, die Energiebereitstellung oder Transporte sind in das Modul integriert.

<sup>10</sup> Ist kein Transport angegeben, wird das Material von vornherein nicht transportiert (z.B. Energien) oder es ist nicht eindeutig geklärt, ob das Material transportiert wird oder nicht, so dass keine Annahme getroffen werden kann.

| Modul                                                  | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                     | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Teilsystem Ausgangsstoffe für Leistungsförderer</i> |                                                                                                                |                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Ammonium-Ligninsulfonat                                | -                                                                                                              | -                                                    | Durch ein Modul zur Herstellung von Zellstoff, einem Ausgangsprozess für Ammonium-Ligninsulfonat, angenähert.<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 3-6                                                                                                                |
| Chlor                                                  | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1994)<br>- Boustead (1994a)<br>- Gerhartz (1987) | Durchschnitt aus 14 europäischen Anlagen             | Das Modul beschreibt die Herstellung von Chlor durch die Chloralkali-Elektrolyse mit den drei Prozessvarianten Amalgam-Verfahren, Diaphragma-Verfahren und Membran-Verfahren (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-7 und Tabelle 3-8              |
| Chlorwasserstoff                                       | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)                                 | Ende 90iger Jahre, Durchschnitt europäischer Anlagen | Das Modul beschreibt die Herstellung von Salzsäure aus der Reaktion von Chlor und Wasserstoff (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Chlor, Wasserstoff und elektrische Energie<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6, Tabelle 3-7 und Tabelle 3-8 |
| Frischkäse                                             | Datensatz aus der GEMIS-Datenbank basierend auf<br>- GhK (1994)<br>- Richards (2000)                           | Ende 90iger Jahre, Deutschland                       | Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde das Modul näherungsweise für die Herstellung der N-Quelle (Eiweißhydrolysat) herangezogen. Das Modul beschreibt eine Molkerei zur Frischkäseherstellung (einschl. Quark) aus konventioneller Milch.                     |
| Glukose                                                | Keine Daten verfügbar                                                                                          | -                                                    | Durch ein Modul zur Herstellung von Glukosesirup angenähert.<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 3-6                                                                                                                                                                 |

| Modul                 | Datenherkunft<br>Literaturquellen | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Glukosesirup          | - Fenner (1980)                   | 70iger Jahre,<br>Deutschland     | <p>In Fenner (1980) wird die Herstellung von Isoglukose aus D-Glukose, D-Fruktose, Maltose und Polysacchariden beschrieben. Die Daten zum Gesamtprozess sind für alle relevanten In- und Outputströme massenbezogen auf die Produktion von D-Glukosesirup allokiert.</p> <p>Die Aufwendungen für die Herstellung von D-Glukose als Vorstufe des D-Glukosesirup konnten nicht separiert werden, weshalb das Modul näherungsweise für die Herstellung von Glukose herangezogen wurde.</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Maisstärke, elektrische Energie und Prozessdampf</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Mais (Landwirtschaft) | - Würdinger et al. (2002)         | 90iger Jahre,<br>Deutschland     | <p>In das Subnetz Mais sind die zur Maisproduktion üblichen Arbeitsgänge Einarbeitung einer Zwischenfrucht - Aussäen des Mais - Düngung und Pflanzenschutz - Ernte - Einarbeitung einer Nachfrucht integriert. Weiter wird davon ausgegangen, dass die landwirtschaftliche Fläche, wenn kein Mais angebaut wird, eine mit Welschem Weidelgras aktiv begrünte Brache ist. Die Aufwendungen für den Erhalt der Grünbrache werden dem System als Gutschrift angerechnet, da diese durch den Maisanbau nicht notwendig sind. Aufgrund der hohen Wassergehalte muss der erntefeuchte Mais in Deutschland für die Lagerung immer getrocknet werden, wofür ein, üblicherweise dafür verwendeter, ölbetriebener Maistrockner modelliert wurde (Würdinger et al., 2002).</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> elektrische und thermische Energie (Heizöl, leicht)</p> <p><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 3-6</p> |

| Modul                         | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maisstärke                    | - Würdinger et al. (2002)                                                                                      | 90iger Jahre,<br>Deutschland     | <p>Im Subnetz Maisstärke ist der Produktionsprozess einer Maisstärkefabrik umgesetzt. Neben der Stärke fallen in der Fabrik Maiskleberfutter, Maiskeimöl und Maisgluten in relevanten Mengen als Kuppelprodukte an (Würdinger et al., 2002). Im Modell sind deshalb alle In- und Outputströme des Produktionsprozesses massenbezogen auf den Produktanteil Maisstärke allokiert.</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Mais, Heizgas, elektrische und thermische Energie (Erdgas)</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6</p> |
| N-Quelle                      | Keine Daten verfügbar                                                                                          | -                                | <p>Da zur verwendeten N-Quelle aus Wettbewerbsgründen bis auf das Herstellerland USA keine Informationen weitergegeben wurden, musste eine Entscheidung zwischen den zur Verfügung stehenden Modulen und Datensätzen getroffen werden. Als günstigste Näherung an eine denkbare N-Quelle (Eiweißhydrolysat) wurde die auf Deutschland bezogene Herstellung von Frischkäse angenommen.</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6 und Tabelle 3-9</p>                                                                                |
| Natronlauge (Natriumhydroxid) | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1994)<br>- Boustead (1994a)<br>- Gerhartz (1987) | 1989-90, Durchschnitt Westeuropa | <p>Das Modul beschreibt die Herstellung von Natriumhydroxid durch die Chloralkali-Elektrolyse mit den drei Prozessvarianten Amalgam-Verfahren, Diaphragma-Verfahren und Membran-Verfahren (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6, Tabelle 3-7 und Tabelle 3-8</p>                                                                                                                                                                                                                                       |
| Saccharose/Lactose-Träger     | Keine Daten verfügbar                                                                                          |                                  | <p>Durch ein Modul zur Herstellung von Zucker angenähert.</p> <p><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 3-6</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Schwefelsäure                 | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997)                                 | 1993, Deutschland                | <p>Das Modul beinhaltet einen Mix der in Deutschland verwendeten Herstellungsprozesse entsprechend ihres Anteils an der Gesamtproduktion (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> <p><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 3-6</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

| Modul                    | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                                               | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Soda                     | Datensatz aus der GEMIS-Datenbank basierend auf<br>- Frischknecht et al. (1995)<br>- Ullmann (1993)            | Deutschland                                                                    | Das Modul beschreibt die synthetische Herstellung von Soda. Ausgangsstoffe für das betrachtete Ammoniak-soda- oder Solvay-Verfahren sind Steinsalz bzw. Natriumchlorid (nach Solereinigungsverfahren) und Kalkstein bzw. (nach Brennen und Löschen) Calciumhydroxid.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 3-6</i> |
| VE <sup>11</sup> -Wasser | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Jungbluth (2003)                                      | Anfang 90iger Jahre, Literatur- und Herstellerraten, europäischer Durchschnitt | Das Modul beschreibt die Wasserbehandlung (Ionenaustausch) für die Verwendung als Kühlwasser in Kraftwerken (ecoinvent, 2003).<br>Berücksichtigte Vorketten: Wasser, entkarbonisiert<br><i>Transport: vgl. Tabelle 3-6</i>                                                                                 |
| Wasser, entkarbonisiert  | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Jungbluth (2003)                                      | Anfang 90iger Jahre, Literatur- und Herstellerraten, europäischer Durchschnitt | Das Modul beschreibt die Wasserbehandlung (Entfernen gelöster Salze der Kohlensäure) für die Verwendung als Kühlwasser in Kraftwerken (ecoinvent, 2003).<br><i>Transport: vgl. Tabelle 3-7 und Tabelle 3-8</i>                                                                                             |
| Wasserstoff              | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1994)<br>- Boustead (1994a)<br>- Gerhartz (1987) | 1989 - 90, Durchschnitt Westeuropa                                             | Das Modul beschreibt die Herstellung von Wasserstoff durch die Chloralkali-Elektrolyse mit den drei Prozessvarianten Amalgam-Verfahren, Diaphragma-Verfahren und Membran-Verfahren (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transporte: vgl. Tabelle 3-7 und Tabelle 3-8</i>                                              |
| Weizen (Landwirtschaft)  | -                                                                                                              | -                                                                              | Das Modul ist weiter oben beschrieben.                                                                                                                                                                                                                                                                     |

---

<sup>11</sup> vollentsalztes Wasser

| Modul         | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                                                    | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Weizenstärke  | Entwicklung von ifeu und BfA<br>(Würdinger et al., 2002)                                       | 90iger Jahre,<br>Deutschland                                                        | <p>Im Subnetz ist die Weizenstärkegewinnung aus Weizenmehl im Nassverfahren einschließlich der vorweg erforderlichen Trockenvermahlung des Weizens modelliert. Sowohl bei Mahlen als auch bei der Stärkegewinnung fallen Kuppelprodukte an. Im Modell sind deshalb alle In- und Outputströme massenbezogen auf die Produktanteile Weizenmehl bzw. Weizenstärke allokiert worden (Würdinger et al., 2002).</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Weizen, Heizgas, elektrische und thermische Energie (Erdgas)</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6</p> |
| Zellstoff     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Götttsching (1990)<br>- Habersatter (1991) | Anfang der 90iger<br>Jahre, schweizer<br>Verhältnisse (übertragbar auf Deutschland) | <p>Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde das Modul näherungsweise für die Bereitstellung von Ammonium-Ligninsulfonat herangezogen, das bei der Herstellung von 1 t Zellstoff mit 600 bis 800 kg als Abfallprodukt anfällt.</p> <p>Das Modul beschreibt die Herstellung von ungebleichtem Sulfitzellstoff. Der Zellstoff wird durch chemischen Aufschluss und Herauslösen von Lignin und Hemicellulosen aus Holz gewonnen und besteht aus Cellulosefasern (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> <p><i>Transport:</i> vgl.</p>                                      |
| Zitronensäure | - Lurgi Life Science (2003)                                                                    | aktuelle Daten,<br>Deutschland                                                      | <p>Das Modul beschreibt den Lurgi-Prozess zur Produktion von Zitronensäure basierend auf der Fermentation von relativ reinen Zuckerlösungen durch hochaktive Mikroorganismen (Lurgi Life Science, 2003).</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Natronlauge, Salzsäure, Zucker, elektrische und thermische Energie (Dampf)</p> <p><i>Transport:</i> vgl.</p>                                                                                                                                                                                                |

| Modul                                                                                                                                                                                                                                      | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                    | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zucker                                                                                                                                                                                                                                     | Datensatz aus der GEMIS-Datenbank basierend auf<br>- GhK (1994)      | Deutschland                      | Das Modul beschreibt die Zuckerherstellung in einer Raffinerie. Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde das Modul auch näherungsweise für die Herstellung des Saccharose/Lactose-Trägers herangezogen.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 3-6</i>                                                                                                  |
| <b>Teilsystem Leistungsförderer</b>                                                                                                                                                                                                        |                                                                      |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| * Da keine chinesischen Prozessmodule oder Datensätze zur Verfügung standen, sind für die betroffenen Prozesse und Transporte für das Szenario SELTENE ERDEN auf Deutschland bzw. die USA bezogene Module und Datensätze verwendet worden. |                                                                      |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Abgasreinigung*                                                                                                                                                                                                                            | - Richter (2003b)                                                    |                                  | Das Modul beinhaltet nur die Menge an Natriumhydroxid für die Reinigung des Abgases aus dem Drehrohrofen. Über weitere Stoffeinträge, den Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte lagen keine Informationen vor.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Ausgangsstoffe für Leistungsförderer, Calcinierung SE-Oxide |
| Aufschluss SE-Konzentrate*                                                                                                                                                                                                                 | - Richter (2000a)<br>- Richter (2000b)<br>- Zongsen und Minbo (1995) |                                  | Das Modul beinhaltet nur die Menge an Schwefelsäure für den Aufschluss der SE-Konzentrate. Über weitere Stoffeinträge, den Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte lagen keine Informationen vor.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Ausgangsstoffe für Leistungsförderer, Flotation                            |

| Modul                  | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                 | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Calcinierung SE-Oxide* | Datensatz aus der GEMIS-Datenbank basierend auf<br>- Habestatter (1991)<br>- Merten et al. (1995)<br>- Bdk (1995) | 1987, USA                        | Aufgrund fehlender Sachbilanzdaten wurde die Calcinierung von SE-Oxide in Drehrohrofen durch ein Modul für das Brennen von Kalk im Drehrohrofen abzüglich der Aufwendungen für die Bereitstellung des Kalkstein angenähert. Damit sollte das Modul nur die Aufwendung und Emissionen, die für den Drehrohrofen anfallen, beinhalten.<br><br>Der betrachtete Drehrohrofen wird mit Steinkohle befeuert und hat einen Energiebedarf von 5200 MJ/t Brantkalk. Diese Daten wurden einer amerikanischen Studie entnommen, wobei angenommen wird, dass die Werte örtlich wie zeitlich übertragbar sind (Fritsche et al., 2002).<br><br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Aufschluss SE-Konzentrate<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6 |
| Eisenerz*              | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Frischknecht et al. (1996)                                    | Ca. 1990, Deutschland            | Das Modul beschreibt den Import-Mix für Eisenerz aus Westeuropa, der ehemaligen GUS, Brasilien, USA, Kanada und Australien. Der Abbau erfolgte zumeist im Tagebau (ifu & ifeu, 2002).<br><br>Die Seltenen Erden stellen ein Abfallprodukt, das während des Eisenerzabbaus abfällt, dar. Aus 1 t Eisenerzgestein können ca. 350 kg Eisenerz und 55 kg Seltene Erden gewonnen werden. Da nur die Seltenen Erden gebraucht werden, sind alle In- und Outputströme des Gesamtprozesses massenbezogen auf den Produktstrom Seltene Erden allokiert worden.                                                                                                                                                                              |
| Extraktion SE-Sulfate* | - Richter (2003b)                                                                                                 |                                  | Das Modul beinhaltet nur Mengen an Natriumhydroxid und Salzsäure für die Umsetzung der SE-Sulfate in die Chloridform. Über weitere Stoffeinträge, den Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte lagen keine Informationen vor.<br><br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Ausgangsstoffe für Leistungsförderer, Calcinierung SE-Oxide                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

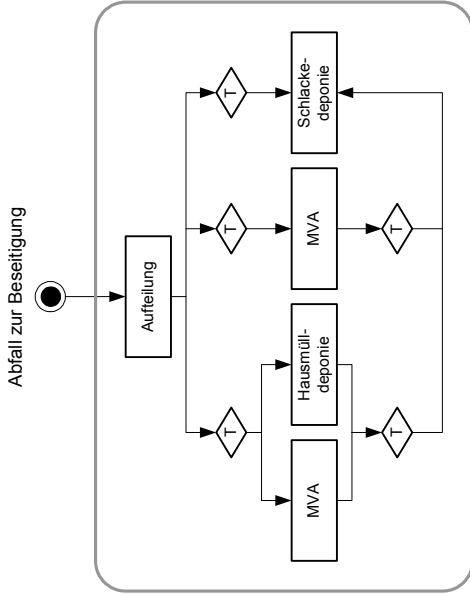
| Modul                 | Datenherkunft<br>Literaturquellen | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Flotation*            | - Kaplan (1988)                   | USA                              | <p>Aufgrund fehlender Sachbilanzdaten wurde für die Flotationsaufbereitung sowie die Verarbeitung des SE-Rohmaterials zu SE-Konzentraten näherungsweise auf Stoffverbräuche in Anlehnung an den Molycorp-Prozess zurückgegriffen.</p> <p>Weitere Stoffeinträge, der Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte mussten unberücksichtigt bleiben.</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Ausgangsstoffe für Leistungsförderer, Magnetabscheider</p> <p><i>Transport:</i> Tabelle 3-6</p> |
| Magnetabscheider*     |                                   | Schätzwerte                      | <p>Das Modul beinhaltet nur den Bedarf an elektrischen Energie für den Magnetabscheider, der entsprechend der in China pro Jahr abgebauten Menge Eisenerzgestein (Chinadatacenter, 2003) mit 50 bis 100 kW abgeschätzt wurde. Über weitere Stoffeinträge, den Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte lagen keine Informationen vor.</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Vermahlen und elektrische Energie</p>                                                                               |
| Probiotika            | - Chevita (2003)                  | 2003, Deutschland                | <p>Die Daten für die Herstellung des Probiotikum Oralin<sup>®</sup> wurden von der Firma Chevita zur Verfügung gestellt (Chevita, 2003).</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Ausgangsstoffe für Leistungsförderer, elektrische und thermische Energie (Erdgas)</p> <p><i>Transport:</i> vgl.</p>                                                                                                                                                                                                       |
| Umsetzung SE-Chlorid* | (Richter, 2003b)                  |                                  | <p>Das Modul beinhaltet nur Mengen an Natriumhydroxid und Zitronensäure für die Umsetzung der SE-Chloride in SE-Citrate (SE-Produkt). Über weitere Stoffeinträge, den Energiebedarf sowie Emissionen oder eventuelle Nebenprodukte lagen keine Informationen vor.</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Ausgangsstoffe für Leistungsförderer, Extraktion SE-Sulfate</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6 und Tabelle 3-9</p>                                                                        |

| Modul                             | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vermahlen*                        | Datensatz aus der GEMIS-Datenbank basierend auf<br>- Ullmann (1996)                              | Deutschland                      | Aufgrund fehlender Sachbilanzdaten wurde die Nassvermahlung von Eisenerzgestein durch ein Modul für das Vermahlen von Manganoxid abzüglich der Aufwendungen für die Bereitstellung Manganoxids angenähert. Damit sollte das Modul nur die Aufwendung und Emissionen, die beim Mahlprozess anfallen, beinhalten.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Eisenerz |
| <i>Teilsystem Gülleverwertung</i> |                                                                                                  |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Ackerschlepper                    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Borken et al. (1999)<br>- Kaltschmitt (1997) | 1995, europäischer Durchschnitt  | Das Modul beinhaltet die mit der Arbeit eines Ackerschleppers verbundenen Energieverbräuche und Emissionen (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Landw. Verwertung                                                                                                                                                                         |
| Landw. Verwertung (Gärreststoffe) | Modul basierend auf<br>- Bayrle et al. (2002)                                                    | aktuell, Deutschland             | Das Modul beschreibt die mit dem Ausbringen von Gärreststoffen auf ein Feld verbundenen Emissionen. Mineralische Düngemittel, die durch den Nährstoffgehalt im Gärreststoff substituiert werden, werden dem System als Gutschrift angerechnet.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Vergärung und Biogasnutzung                                               |
| Landw. Verwertung (Gülle)         | Modul basierend auf dem Bilanzierungsmodell aus<br>- Bayrle (2002)                               | aktuell, Deutschland             | Das Modul beschreibt die mit dem Ausbringen von Gülle auf ein Feld verbundenen Emissionen. Mineralische Düngemittel, die durch den Nährstoffgehalt in der Gülle substituiert werden, werden dem System als Gutschrift angerechnet.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Ausgangsstoffe für Leistungsförderer                                       |

| Modul                       | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vergärung und Biogasnutzung | <p>Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ANS (1995)</li> <li>- Bidlingmaier und Müsken (1994)</li> <li>- Bidlingmaier und Grauenhorst (1996)</li> <li>- Bilitewski et al. (1998)</li> <li>- Märkl und Stegmann (1994)</li> <li>- Dehoust et al. (1998)</li> <li>- Fricke et al. (1990)</li> <li>- Fritsche et al. (1997)</li> <li>- Graja und Wilderer (1988)</li> <li>- Gronauer et al. (1997)</li> <li>- Hams et al. (1999)</li> <li>- Hoppenheidt et al. (1998a)</li> <li>- Hoppenheidt et al. (1998b)</li> <li>- Körner et al. (1996)</li> <li>- Krauß et al. (1996)</li> <li>- Kübler u. Nimmrichter (2000)</li> <li>- Rösch (1996)</li> <li>- Schmitt et al. (2000)</li> <li>- Sonesson (1998)</li> <li>- Soyez (1996)</li> <li>- Wiemer und Kern (1992)</li> <li>- Wiemer et al. (1996)</li> <li>- Wiemer und Kern (1998)</li> <li>- Wilderer et al. (1996)</li> </ul> | 90iger Jahre, Deutschland        | <p>Die modellierten Anlagenbestandteile entsprechen überwiegend den auf deutschen Nassvergärungsanlagen zu findenden Einrichtungen. Sie bestehen aus einer Maschinenhalle, in der sich die Störstoffauslese (Nassaufbereitung), Mischstrecke und die Entwässerungseinheit befinden. Zur Entwässerung dient eine Zentrifuge, als Entwässerungshilfsmittel werden Polymere eingesetzt. Der Fermenter befindet sich neben der Maschinenhalle, er wird mittels Rührwerk durchmischt. Entstehendes Biogas wird abgezogen und über einen Gassammelbehälter einem BHKW zugeleitet. Die Biogasnutzung erfolgt in einem Gas-Otto-Motormotor. Eine Nachkompostierung erfolgt i.d.R. ohne großen weiteren Aufwand und ist im 'low-tech'-Verfahren modelliert.</p> <p><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Ausgangsstoffe für Leistungsförderer</p> |

| Modul                                | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                               | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität             | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Äquivalenzsysteme</i>             |                                                                                                 |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Ammoniak                             | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- ifeu (1994)<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                            | Das Modul beschreibt die Herstellung von Ammoniak nach dem Haber-Bosch-Verfahren aus Synthesegas, das aus fossilen Energieträgern und Wasserdampf und/oder Luft erzeugt wird (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 3-7, Tabelle 3-8 und Tabelle 3-10                                               |
| Ammoniumnitrat                       | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Nemecek et al. (2003)                  | Ende 90iger Jahre, europäischer Durchschnitt | Das Modul beschreibt die Herstellung des Dünger-Nährstoffes aus Ammoniak und Salpetersäure (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Ammoniak und Salpetersäure<br><i>Transport:</i> vgl.                                                                                                             |
| Diammoniumphosphat                   | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Nemecek et al. (2003)                  | Ende 90iger Jahre, europäischer Durchschnitt | Das Modul beschreibt die Herstellung des Dünger-Nährstoffes aus Ammoniak und Phosphorsäure (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Ammoniak, Phosphorsäure, elektrische und thermische Energie (Erdgas)<br><i>Transport:</i> vgl.                                                                   |
| Energieträgermix<br>(therm. Energie) |                                                                                                 |                                              | Das Modul ist weiter unten beschrieben.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Feldarbeiten Grünbrache              | Entwicklung von ifeu und BfA (Würdinger et al., 2002)                                           | 90iger Jahre, Deutschland                    | Das Modul beinhaltet die Aufwendungen für den Erhalt einer Grünbrache.                                                                                                                                                                                                                                              |
| Kaliumchlorid                        | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Nemecek et al. (2003)                  | 2000, Deutschland                            | Das Modul beschreibt die Herstellung des Dünger-Nährstoffes beginnend beim Abbau des Kalisalz (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Diesel, thermische Energie (Erdgas)<br><i>Transport:</i> vgl.                                                                                                 |
| Phosphorsäure                        | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997)                  | 1993, Deutschland                            | Das Modul beschreibt die Herstellung von Phosphorsäure durch die Reaktion von Phosphaterz und Schwefelsäure. Dabei wird zwischen dem unterschiedlich energieaufwendigen Hemihydrat- und dem Dihydrat-Verfahren unterschieden (ifu & ifeu, 2002)<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-7, Tabelle 3-8 und Tabelle 3-10 |

| Modul                                             | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Salpetersäure                                     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997) | 1993, Deutschland                | Das Modul beschreibt die Herstellung von Salpetersäure nach dem Ostwald-Verfahren durch Ammoniak-Oxidation mit Luft (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport</i> : vgl. Tabelle 3-7 und Tabelle 3-8                                                                                                                                                   |
| Strommix (elektr. Energie)                        |                                                                                |                                  | Das Modul ist weiter unten beschrieben.                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Basismodule Abfall- und Abwasserbehandlung</b> |                                                                                |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Abwasserbehandlung                                | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- ifeu (1994)                | 1994, Deutschland                | Das Modul beschreibt eine Kläranlage mit weitergehende Reinigung inklusive der Vorketten auf Basis der durchschnittlichen Reinigungseffizienz kommunaler biologischer Anlagen (ifu & ifeu, 2002). Die Abwasserbehandlung wird dabei durch die Abwasser- sowie den Ammoniumgehalt, AOX, BSB <sub>5</sub> , CSB und Phosphorgehalt parametrisiert. |

| Modul            | Datenherkunft<br>Literaturquellen | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abfallbehandlung |                                   |                                  | <p>Das Subnetz beschreibt den Umgang mit Abfällen zur Beseitigung, die nicht unter das Abschneidekriterium fallen. Die Aufteilung dieser Abfälle wurde wie folgt vorgenommen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- haushälterische Abfälle in den Beseitigungsmix Deutschland (bestehend aus MVA und Hausmülldeponie)</li> <li>- Abfälle zur Verbrennung in eine Müllverbrennungsanlage</li> <li>- Schlacken, Aschen, Inertstoffe in eine Schlackedeponie</li> </ul>  <p>The flowchart illustrates the waste treatment process. It begins with a circle labeled 'Abfall zur Beseitigung' (Waste for disposal). An arrow leads to a box labeled 'Aufteilung' (Distribution). From 'Aufteilung', three arrows branch out to three diamond-shaped decision points, each labeled 'T'. The first 'T' leads to a box labeled 'MVA' (Municipal Waste Incineration Plant). The second 'T' leads to a box labeled 'Hausmüll-deponie' (Household Waste Landfill). The third 'T' leads to a box labeled 'Schlacke-deponie' (Slack Landfill). From the 'MVA' box, an arrow leads to a diamond-shaped decision point labeled 'T'. From this 'T', an arrow leads to a box labeled 'MVA' (Municipal Waste Incineration Plant). From the 'Hausmüll-deponie' box, an arrow leads to a diamond-shaped decision point labeled 'T'. From this 'T', an arrow leads to a box labeled 'Schlacke-deponie' (Slack Landfill). From the 'Schlacke-deponie' box, an arrow leads to a diamond-shaped decision point labeled 'T'. From this 'T', an arrow leads to a box labeled 'MVA' (Municipal Waste Incineration Plant).</p> <p><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Beseitigungsmix, Müllverbrennungsanlage, Schlackedeponie<br/> <i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6</p> |

| Modul                          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                                                  | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität    | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beseitigungsmix<br>Deutschland | Subnetz basierend auf dem<br>Bilanzierungsmodellen aus<br>- Würdinger et al. (2002)<br>- Hottenroth et al. (2004)                                                                                                                                  | Anfang 00iger Jahre,<br>Deutschland | Im Beseitigungsmix Deutschland werden die Abfälle entsprechend der Situation in Deutschland zu 38 % in einer Müllverbrennungsanlage thermisch behandelt und zu 62 % unbehandelt deponiert. Von den deponierten Abfällen werden zwischen 3 % und 4 % zuvor mechanisch-biologisch behandelt. Da derzeit aber keine verlässlichen Daten zu den Umweltauswirkungen der MBA vorliegen, wird angenommen, dass dieser (geringe) Anteil Abfall auch direkt deponiert wird.<br><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Hausmülldeponie, Müllverbrennungsanlage<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6              |
| Hausmülldeponie                | Subnetz aus der Umberto-<br>Bibliothek basierend auf<br>- Eggels und van der Ven<br>(1995)<br>- Ehrig (1997)<br>- Habersatter et al. (1998)<br>- Rettenberger (1997)<br>- Rettenberger und Stegmann (1997)<br>- Schuhmann (1997)<br>- Weber (1990) | 90iger Jahre,<br>Deutschland        | Das Subnetz beschreibt die Emissionen und den Betriebsmittelverbrauch bei der Ablagerung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfällen in einer Deponie mit den beiden Hauptemissionspfaden Sickerwasser und Deponiegas. Sowohl das Sickerwasser als auch das Deponiegas werden unterschiedlichen Entsorgung- und Behandlungswegen bis hin zur Klärschlammabtrocknung und -verbrennung bzw. zur Verbrennung oder Verstromung des Deponiegases unterzogen (ifu und ifeu, 2002). Die erzeugte Energie wird als Gutschrift ausgewiesen und entsprechend verrechnet.<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6 |

| Modul                                  | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Müllverbrennungs-<br>anlage            | <p>Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auksutat und Löffler (1998)</li> <li>- Achernbosch und Richers (1997)</li> <li>- Achernbosch und Richers (1998)</li> <li>- ifeu (2002)</li> <li>- Schäfl (1995)</li> <li>- Thome-Kozmiensky (1995)</li> <li>- UBA (1999)</li> </ul>                                                                                                                                           | Mitte 90iger Jahre, Deutschland  | <p>Das Modul beschreibt die Verbrennung von Hausmüll bzw. von hausmüllähnlichen Abfällen in einer Müllverbrennungsanlage neuerer Bauart vom Typ der Rostfeuerung mit hohem Standard der Abgasreinigung. Der elektrische Nutzungsgrad der Anlage ist mit 10 % und der thermische Nutzungsgrad mit 30 % definiert (ifu und ifeu, 2002). Die erzeugte Energie wird als Gutschrift ausgewiesen und entsprechend verrechnet.</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6</p> |
| Schlackedeponie<br>(Inertstoffdeponie) | <p>Subnetz aus der Umberto-Bibliothek basierend auf</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BfU (1998)</li> <li>- Ehrig (1997)</li> <li>- Förstner et al. (1997)</li> <li>- Habersatter et al. (1998)</li> <li>- Hirschmann und Förstner (1997)</li> <li>- Kersten et al. (1995)</li> <li>- Regener et al. (1997)</li> <li>- Rettenberger und Stegmann (1997)</li> <li>- Simon (1995)</li> <li>- Turk (1997)</li> <li>- UBA (unveröffentlichte Mitteilungen)</li> </ul> | 1997, Deutschland                | <p>Das Subnetz beschreibt die Emissionen und den Betriebsmittelverbrauch bei der Ablagerung von Aschen und Schlacken auf einer Schlackedeponie mit den beiden Hauptemissionspfaden Sickerwasser und Deponiegas. Eine energetische Verwertung des Sickerwassers und des Deponiegases, wie bei der Hausmülldeponie, ist nicht implementiert (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> <p><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 3-6</p>                                                       |

| Modul                                          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität              | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|--|----------------|-----------|------------|--------|--------|------------|--------|-------|--------|--------|--------|-----------|-------|--------|
| Basismodule Energieträger und Energieerzeugung |                                                                                                                |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Energieträgermix Deutschland (therm. Energie)  | Subnetz basierend auf dem Bilanzierungsmodellen aus<br>- Würdinger et al. (2002)<br>- Hottenroth et al. (2004) | 90iger Jahre, Deutschland                     | <p>Der thermische Energieträgermix Deutschland wurde aus Würdinger et al. (2002) entnommen. Danach wird 52 % der in Deutschland benötigten thermischen Energie in Form von industrieller Wärme (Prozesswärme) und 48 % in Form von Fernwärme erzeugt.</p> <p>Die Prozesswärme wird zu 100 % in Heizwerken erzeugt.</p> <p>Die Fernwärme wird zu 70 % in Heizkraftwerken, 28 % in Heizwerken und 2 % in Müllverbrennungsanlagen erzeugt. Der durchschnittliche Brennstoffeinsatz ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst (nach Würdinger et al., 2002). Bei der Modellierung wurde der Anteil der Müllverbrennungsanlagen vernachlässigt und auf die Heiz- bzw. Heizkraftwerke verteilt.</p> <table><tr><th rowspan="2">Brennstoff</th><th colspan="2">Anteil der Brennstoffe [%]</th></tr><tr><th>Heizkraftwerke</th><th>Heizwerke</th></tr><tr><td>Steinkohle</td><td>51,7 %</td><td>20,5 %</td></tr><tr><td>Braunkohle</td><td>17,9 %</td><td>6,8 %</td></tr><tr><td>Erdgas</td><td>21,1 %</td><td>54,7 %</td></tr><tr><td>Mineralöl</td><td>7,4 %</td><td>17,9 %</td></tr></table> <p><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> HKW Braunkohle, HKW Steinkohle, HKW Erdgas, HW Braunkohle, HW Steinkohle, HW Erdgas, HW Heizöl S</p> | Brennstoff | Anteil der Brennstoffe [%] |  | Heizkraftwerke | Heizwerke | Steinkohle | 51,7 % | 20,5 % | Braunkohle | 17,9 % | 6,8 % | Erdgas | 21,1 % | 54,7 % | Mineralöl | 7,4 % | 17,9 % |
| Brennstoff                                     | Anteil der Brennstoffe [%]                                                                                     |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
|                                                | Heizkraftwerke                                                                                                 | Heizwerke                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Steinkohle                                     | 51,7 %                                                                                                         | 20,5 %                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Braunkohle                                     | 17,9 %                                                                                                         | 6,8 %                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Erdgas                                         | 21,1 %                                                                                                         | 54,7 %                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Mineralöl                                      | 7,4 %                                                                                                          | 17,9 %                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Heizung Erdgas                                 | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001)                                     | Ende 90iger Jahre, Deutschland                | Das Modul beschreibt eine Etagenheizung mit Gebläsebrenner mit einer Leistung von 0,01MW (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| HKW Braunkohle                                 | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001)                                     | Anfang 90iger Jahre, Durchschnitt Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer und elektrischer Energie in einem Braunkohle-Heizkraftwerk mit einer Leistung von 50 MWel (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |

| Modul          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HKW Erdgas     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer und elektrischer Energie in einem Erdgas-Heizkraftwerk mit Gasturbine und einer Leistung von 10 MWel (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                  |
| HKW Steinkohle | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer und elektrischer Energie in einem Steinkohle-Heizkraftwerk mit einer Leistung von 100 MWel (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                            |
| HW Braunkohle  | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in einem Braunkohle-Heizkraftwerk mit rheinischer Braunkohle aus den rheinischen Abbaugebieten. Die Leistung des Heizkessels liegt bei 10 MW(th) (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                              |
| HW Erdgas      | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in Erdgasheizkesseln mit Leistungen von 1 bis 10 MW(th). Die Kessel stellen durchschnittliche Industriekessel zur Bereitstellung von Prozess- und Fernwärme dar (ifu & ifeu, 2002).<br>Aufgrund ungenügender Sachbilanzdaten wurde das Modul näherungsweise auch für die Bereitstellung von Heizgas herangezogen. |
| HW Heizöl EL   | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt ein Heizwerk für leichtes Heizöl mit Gebläsebrenner mit einer Leistung von 1 MW (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                                                                       |
| HW Heizöl S    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in einem Schwerölheizwerk im Bereich von 50 - 200 MW(th). Dieser Heizwerkstyp wird zur industriellen Prozesswärme-Erzeugung eingesetzt (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                        |
| HW Steinkohle  | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in einem Steinkohle-Heizwerk mit einer Leistung von 50 MW(th) (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                                                 |

| Modul                                  | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                               | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                         | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|------------|----|------------|------|-----|-----|----------|------|-----------|------|--------|------|------|------|-------------------|------|
| Strommix Deutschland (elektr. Energie) | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- BMWi (2000)<br>- Frischknecht et al. (1996) | Ende 90iger Jahre, Deutschland (AKW Anfang 90iger Jahre) | <p>Das Modul beschreibt die mittleren Verhältnisse der öffentlichen Stromerzeugung in Deutschland. Der zugrunde liegende Energiemix aus dem Jahr 1998 ist in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.</p> <table><tr><th>Ressource</th><th>Beitrag zur Stromerzeugung [%]</th></tr><tr><td>Steinkohle</td><td>27</td></tr><tr><td>Braunkohle</td><td>27,3</td></tr><tr><td>Gas</td><td>7,6</td></tr><tr><td>Heizöl S</td><td>0,47</td></tr><tr><td>Kernkraft</td><td>32,5</td></tr><tr><td>Wasser</td><td>3,86</td></tr><tr><td>Wind</td><td>0,34</td></tr><tr><td>Abfallverbrennung</td><td>0,93</td></tr></table> <p>Beim Transport von den Kraftwerken zum Verbraucher erfährt der Strom Umnennungs- und Leitungsverluste, deren Höhe vom Spannungsniveau des nachgefragten Stromes abhängt. Als mittlerer Netzmix wurde folgende Verteilung angenommen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Hochspannung: 20 %</li><li>- Mittelspannung: 30 %</li><li>- Niederspannung: 50 %</li></ul> <p>Das Modul umfasst die Kraftwerksprozesse zur Stromerzeugung mit Stein- und Braunkohle, Erd-, Koks- und Hochofengas und Kern-, Wasser- und Windkraft sowie die zugehörigen Brennstoffvorketten für Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Kokerei- und Hochofengas und Brennelemente als auch die Deponierung oder Verbrennung von Abfällen (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> | Ressource | Beitrag zur Stromerzeugung [%] | Steinkohle | 27 | Braunkohle | 27,3 | Gas | 7,6 | Heizöl S | 0,47 | Kernkraft | 32,5 | Wasser | 3,86 | Wind | 0,34 | Abfallverbrennung | 0,93 |
| Ressource                              | Beitrag zur Stromerzeugung [%]                                                                  |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Steinkohle                             | 27                                                                                              |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Braunkohle                             | 27,3                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Gas                                    | 7,6                                                                                             |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Heizöl S                               | 0,47                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Kernkraft                              | 32,5                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Wasser                                 | 3,86                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Wind                                   | 0,34                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Abfallverbrennung                      | 0,93                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |

| Modul                            | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                       | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Prozessdampf                     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- BMWi (2000)<br>- Fritsche et al. (2001)<br>- Frischknecht et al. (1996)<br>- Kohlewirtschaft (2000) | Ende 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland   | Das Modul beschreibt einen mit Erdgas befeuerten mittleren Dampferzeuger, wie er in der Industrie zum Einsatz kommt. Der Leistungsbereich liegt bei 5 bis 20 MW thermisch (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Basismodule Energieträger</b> |                                                                                                                                                         |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Bereitstellung Braunkohle        | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001)<br>- Frischknecht et al. (1996)                                              | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt den Abbau, die Förderung und den Transport von rheinischer Braunkohle. In Deutschland wird nahezu ausschließlich Braunkohle aus heimischer Förderung verwendet. Dabei werden die Abbaubereiche aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzungen der verschiedenen Braunkohlen in rheinisch, westelbisch und ostelbisch unterteilt. Die rheinische Braunkohle wird ausschließlich im Tagebau abgebaut. Der Transport zum Industriebetrieb, zum Kraftwerk oder zum Brikettwerk wird aufgrund der kurzen Entfernung innerhalb des rheinischen Reviers vernachlässigt (ifu & ifeu, 2002). |
| Bereitstellung Erdgas            | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- BMWi (2000)<br>- Fritsche et al. (2001)<br>- Frischknecht et al. (1996)<br>- Kohlewirtschaft (2000) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung und Aufbereitung von durchschnittlichem in Deutschland eingesetztem Erdgas. Der Durchschnitt setzt sich aus einem Split (bezogen auf den Heizwert) wie folgt zusammen:<br>- Deutschland: 21 %<br>- ehem. GUS: 36 %<br>- Niederlande: 22 %<br>- Norwegen: 21 %<br>Der Transport des Erdgases erfolgt bis an das Kraftwerk bzw. den Industriebetrieb (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                  |

| Modul                           | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bereitstellung<br>Heizöl leicht | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001)<br>- Frischknecht et al. (1996) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung, den Transport und die Refination des in Deutschland verwendeten Heizöls EL. Heizöl EL wird aus importiertem Erdöl in heimischen Raffinerien hergestellt. Die Herkunft wird nach den Herstellern D, EU, ehem. GUS und OPEC unterschieden. Im Anschluss an die Raffinerie wird das erzeugte Heizöl EL über nationale bzw. regionale Verteilungsstrukturen mittels Bahn zum Kraftwerk oder dem Industriebetrieb gebracht (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                             |
| Bereitstellung<br>Heizöl schwer | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Fritsche et al. (1994)                                               | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung, den Transport und die Refination des in Deutschland verwendeten Heizöls S. Heizöl S wird dabei sowohl direkt importiert als auch aus importiertem Erdöl in heimischen Raffinerien hergestellt. Die Herkunft wird nach den Herstellern ehem. GUS, EU und OPEC unterschieden. Im Anschluss an die Raffinerie wird das erzeugte Heizöl S über nationale bzw. regionale Verteilungsstrukturen mittels Bahn zum Kraftwerk oder dem Industriebetrieb gebracht (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                           |
| Bereitstellung<br>Steinkohle    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Kohlewirtschaft (2000)                                 | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt den Abbau, die Förderung und den Transport von in Deutschland verwendeter Steinkohle. Der Datensatz stellt einen Mischdatensatz aus den verschiedenen Import-Steinkohlen nach Kohlewirtschaft (2000) dar. Insgesamt werden ca. 1/3 der in Deutschland verwendeten Steinkohle importiert. Die restlichen 2/3 stammen aus deutscher Förderung. Der Steinkohlensplit setzt sich wie folgt zusammen (ifu & ifeu, 2002):<br>- BRD 62,1 %<br>- Polen (u. Osteuropa): 12,5 %<br>- Südafrika: 10,2 %<br>- Kolumbien/Kanada/USA: 7,8 %<br>- Australien: 4,1 %<br>- Niederlande (u. sonst. Westeuropa): 3,3 %. |

| Modul                          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität    | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Basismodule Hilfsstoffe</b> |                                                                                                            |                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Diesel                         | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001)<br>- Frischknecht et al. (1996) | Anfang 90iger Jahre,<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung, den Transport und die Refination des in Deutschland verwendeten Diesels. Diesel wird aus importiertem Erdöl in heimischen Raffinerien hergestellt. Die Herkunft wird nach den Herstellern D, EU, GUS und OPEC unterschieden. Im Anschluss an die Raffinerie wird das Diesel über nationale bzw. regionale Verteilungsstrukturen mittels Tankfahrzeugen zur Tankstelle gebracht (ifu & ifeu, 2002). |
| Heizgas                        | Keine Daten verfügbar                                                                                      |                                     | Durch ein Modul zur Erzeugung thermischer Energie im HW Erdgas angenähert.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Basismodule Transporte</b>  |                                                                                                            |                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Bahn                           | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Borken et al. (1999)                                                 | 1996, Deutschland                   | Das Modul beschreibt den Güterbahntransport der Deutschen Bundesbahn inklusive der Bereitstellung der notwendigen Sekundärenergien Diesel und Strom. Die Spezifikation des Transports wird über die Transportentfernung oder die Transportleistung sowie über die Zugattung (Ganzzug, kombinierter Ladungsverkehr, Einzelwagenzug) vorgenommen (ifu & ifeu, 2002).                                                                     |

| Modul           | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>8</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>9</sup> , Transporte <sup>10</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------|-------------------|-------|---------------|--------|------------|-------------|--------|------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|-----------------|--------|------|-----------------|---|--------|
| Lkw             | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Borken et al. (1998)<br>- Knörr et al. (1998)<br>- Schmidt et al. (1998) | 1996, Deutschland                | <p>Das Modul beschreibt den Lkw-Transport von Gütern inklusive der Bereitstellung des notwendigen Kraftstoffes. Zur Spezifikation können als Parameter die Transportentfernung oder Transportleistung, der Auslastungsgrad der Hin- und Rückfahrt, der Fahrzeugtyp und die Fahrleistungsanteile auf Autobahn, Landstraßen und Innerortsstraßen definiert werden (ifu &amp; ifeu, 2002). In der nachfolgenden Tabelle sind die zur Verfügung stehenden Lkw-Fahrzeugklassen zusammengefasst.</p> <table><tr><th></th><th>Zulässiges Gesamtgewicht</th><th>Maximale Nutzlast</th></tr><tr><td>1 LKW</td><td>3,5 bis 7,5 t</td><td>3,75 t</td></tr><tr><td>2 Solo Lkw</td><td>14 bis 20 t</td><td>10,5 t</td></tr><tr><td>3 Solo Lkw</td><td>&gt; 20 t</td><td>15,3 t</td></tr><tr><td>4 Lkw/Sattelzug</td><td>&lt; 32 t</td><td>20,5 t</td></tr><tr><td>5 Lkw/Sattelzug</td><td>&gt; 32 t</td><td>28 t</td></tr><tr><td>6 Mittlerer Lkw</td><td>-</td><td>17,5 t</td></tr></table> |  | Zulässiges Gesamtgewicht | Maximale Nutzlast | 1 LKW | 3,5 bis 7,5 t | 3,75 t | 2 Solo Lkw | 14 bis 20 t | 10,5 t | 3 Solo Lkw | > 20 t | 15,3 t | 4 Lkw/Sattelzug | < 32 t | 20,5 t | 5 Lkw/Sattelzug | > 32 t | 28 t | 6 Mittlerer Lkw | - | 17,5 t |
|                 | Zulässiges Gesamtgewicht                                                                                       | Maximale Nutzlast                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 1 LKW           | 3,5 bis 7,5 t                                                                                                  | 3,75 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 2 Solo Lkw      | 14 bis 20 t                                                                                                    | 10,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 3 Solo Lkw      | > 20 t                                                                                                         | 15,3 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 4 Lkw/Sattelzug | < 32 t                                                                                                         | 20,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 5 Lkw/Sattelzug | > 32 t                                                                                                         | 28 t                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 6 Mittlerer Lkw | -                                                                                                              | 17,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| Seeschiff       | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Borken et al. (1998)                                                     | 1996                             | <p>Das Modul beschreibt den Hochseeschiff-Transport von Gütern inklusive der Bereitstellung des notwendigen Kraftstoffes. Die Spezifikation des Transportes wird über die Transportentfernung oder die Transportleistung sowie über die Schiffskategorie (Stückgutfrachter, Massengutschiffe, Tanker) vorgenommen (ifu &amp; ifeu, 2002).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |

### 3.4 Überblick Transporte

Tabelle 3-6 bis Tabelle 3-10 fassen die modellierten Transporte zusammen. Neben dem Transportmittel Lkw, Bahn oder Schiff unterscheiden sich die verwendeten Datensätze auch in der Angabe der zurückzulegenden Strecke. Zum einen war die tatsächliche Transportentfernung anzugeben, zum anderen wurde die Strecke aus der Angabe der Transportleistung in Tonnenkilometer (tkm) errechnet. Eine Beschreibung der Transportmodule befindet sich in Tabelle 3-5.

Tabelle 3-6: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportentfernung

| Transport                                                                                              | Entfernung<br>[km] | Auslastung [%] |                | Nutzlast<br>[t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                                                        |                    | Hinfahrt       | Rück-<br>fahrt |                 | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| Abfall zur Hausmülldeponie                                                                             | 25                 | 50             | 50             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Abfall zur Müllverbrennungsanlage                                                                      | 25                 | 50             | 50             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Abfall zur Inertstoffdeponie (Schlackedeponie)                                                         | 25                 | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Ammonium-Ligninsulfonat von der Zellstoffproduktion zur SE-Produktion (Flotation des Eisenerzgesteins) | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Ammoniumnitrat im Äquivalenzsystem                                                                     | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Diammoniumphosphat im Äquivalenzsystem                                                                 | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Gerste vom Anbau zur Futtermittelherstellung                                                           | 50                 | 60             | 40             | 10,5            | 30                  | 41               | 29        |
| Glukose vom Hersteller zu einem Händler (1)                                                            | 318                | 60             | 40             | 28              | 91                  | 6                | 3         |
| Glukose vom Händler zur Probiotikaherstellung (2)                                                      | 152                | 60             | 40             | 17,5            | 97                  | 2                | 1         |
| Kaliumchlorid im Äquivalenzsystem                                                                      | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Mais vom Feld zum Zwischenlager                                                                        | 4                  | 100            | 0              | < 32            | 0                   | 100              | 0         |
| Mais vom Zwischenlager zur Stärkegewinnung                                                             | 100                | 100            | 50             | < 32            | 50                  | 30               | 20        |
| N-Quelle vom Hersteller zum Hafen in USA (1)                                                           | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |

| Transport                                                                                                                                                                                              | Entfernung<br>[km] | Auslastung [%] |                | Nutzlast<br>[t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                                                                                                                                                        |                    | Hinfahrt       | Rück-<br>fahrt |                 | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| N-Quelle vom Hafen in Deutschland zum Probiotikaherstellung (3)                                                                                                                                        | 751                | 60             | 40             | 17,5            | 85                  | 14               | 1         |
| Natronlauge vom Hersteller zur Zitronensäureproduktion                                                                                                                                                 | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natronlauge vom Hersteller zur SE-Produktion (Abgasreinigung nach der Umwandlung des SE-Rohmaterials in SE-Oxide, Extraktion von SE-Sulfaten in SE-Chloride und Umsetzung von SE-Chlorid zu SE-Citrat) | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natronlauge vom Hersteller zu einem Händler (1)                                                                                                                                                        | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natronlauge vom Händler zur Probiotikaproduktion (2)                                                                                                                                                   | 152                | 60             | 40             | 17,5            | 97                  | 2                | 1         |
| Sacharose/Lactose-Träger vom Hersteller zur Probiotikaherstellung                                                                                                                                      | 142                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Salzsäure (Chlorwasserstoff) vom Hersteller zur SE-Produktion (Extraktion von SE-Sulfaten in SE-Chloride)                                                                                              | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Salzsäure (Chlorwasserstoff) vom Hersteller zur Zitronensäureproduktion                                                                                                                                | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Schwefelsäure vom Hersteller zur SE-Produktion (Aufschluss des SE-Rohmaterials)                                                                                                                        | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| SE-Citrate (SE-Produkt) von der SE-Produktion (Umsetzung von SE-Chlorid zu SE-Citrat) zum Hafen in China (1)                                                                                           | 1000               | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| SE-Citrate (SE-Produkt) vom Hafen in Deutschland zum Produktionsstandort des Leistungsförderers (3)                                                                                                    | 600                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| SE-Konzentrate von der Flotation zum Aufschluss                                                                                                                                                        | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| SE-Sulfate von der Calciniierung im Drehrohrofen zur Extraktion                                                                                                                                        | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Soda vom Hersteller zur SE-Produktion (Flotation des Eisenerzgesteins)                                                                                                                                 | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Soja vom Anbau zur Futtermittelherstellung                                                                                                                                                             | 50                 | 60             | 40             | 10,5            | 30                  | 41               | 29        |

| Transport                                                                             | Entfernung [km] | Auslastung [%] |           | Nutzlast [t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------|-----------|--------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                                       |                 | Hinfahrt       | Rückfahrt |              | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| VE-Wasser vom Hersteller zur Probiotikaherstellung                                    | 300             | 60             | 40        | 17,5         | 51                  | 30               | 19        |
| Weizen vom Feld zum Zwischenlager                                                     | 4               | 100            | 0         | 15,3         | 0                   | 100              | 0         |
| Weizen vom Zwischenlager zur Futtermittelherstellung                                  | 50              | 60             | 40        | 10,5         | 30                  | 41               | 29        |
| Weizen vom Zwischenlager zur Weizenstärkegewinnung                                    | 50              | 60             | 40        | 10,5         | 30                  | 41               | 29        |
| Weizenstärke vom Hersteller zur SE-Produktion (Trägermaterial für die Seltenen Erden) | 300             | 60             | 40        | 17,5         | 51                  | 30               | 19        |
| Zucker vom Hersteller zur SE-Produktion (Umsetzung von SE-Chlorid zu SE-Citrat)       | 300             | 60             | 40        | 17,5         | 51                  | 30               | 19        |
| Zucker vom Hersteller zur Zitronensäureproduktion                                     | 300             | 60             | 40        | 17,5         | 51                  | 30               | 19        |

Tabelle 3-7: Parameter zur Modellierung der Lkw-Transporte bei Angabe der Transportleistung

| Transport                                                                                                            | Transport-<br>leistung [km] | Auslastung [%] |           | Nutzlast [t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|-----------|--------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                                                                      |                             | Hinfahrt       | Rückfahrt |              | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| Chlor und Wasserstoff von den Herstellern zur Salzsäure-Produktion (1)                                               | 0,05                        | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26               | 13        |
| Wasser (entkarbonisiert), Chlorwasserstoff und Natriumhydroxid von den Herstellern zur Herstellung von VE-Wasser (1) | 0,000152                    | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26               | 13        |
| Ammoniak und Salpetersäure von den Herstellern zur Ammoniumnitrat-Produktion im Äquivalenzsystem (1)                 | 0,286                       | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26               | 13        |
| Ammoniak und Phosphorsäure von den Herstellern zur Diammoniumphosphat-Produktion im Äquivalenzsystem (1)             | 0,723                       | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26               | 13        |

| Transport                                                                               | Transportleistung [km] | Auslastung [%] |           | Nutzlast [t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------|-----------|--------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                                         |                        | Hinfahrt       | Rückfahrt |              | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| Ausgangsstoffe von den Herstellern zur Kaliumchlorid-Produktion im Äquivalenzsystem (1) | 0,167                  | 60             | 40        | < 32 t       | 61                  | 26               | 13        |

Tabelle 3-8: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportleistung

| Transport                                                                                                            | Transportleistung [tkm] | Traktionsart | Zuggattung     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|----------------|
| Chlor und Wasserstoff von den Hersteller zur Salzsäure-Produktion (2)                                                | 0,1                     | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Wasser (entkarbonisiert), Chlorwasserstoff und Natriumhydroxid von den Herstellern zur Herstellung von VE-Wasser (2) | 0,000911                | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Ammoniak und Salpetersäure von den Herstellern zur Ammoniumnitrat-Produktion im Äquivalenzsystem (2)                 | 1,71                    | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Ammoniak und Phosphorsäure von den Herstellern zur Diammoniumphosphat-Produktion im Äquivalenzsystem (2)             | 0,937                   | Diesel       | Einzelwagenzug |
| Ausgangsstoffe von den Herstellern zur Kaliumchlorid-Produktion im Äquivalenzsystem (2)                              | 1                       | Diesel       | Einzelwagenzug |

Tabelle 3-9: Parameter zur Modellierung der Schifffransporte bei Angabe der Transportentfernung

| Transport                                              | Entfernung [km] | Schiffstyp       |
|--------------------------------------------------------|-----------------|------------------|
| N-Quelle von USA nach Deutschland (2)                  | 6670            | Stückgutfrachter |
| SE-Citrate (SE-Produkt) von China nach Deutschland (2) | 20000           | Stückgutfrachter |

Tabelle 3-10: Parameter zur Modellierung der Schifftransporte bei Angabe der Transportleistung

| Transport                                                                                                | Transportleistung<br>[tkm] | Schiffstyp     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------|
| Ammoniak und Phosphorsäure von den Herstellern zur Diammoniumphosphat-Produktion im Äquivalenzsystem (2) | 3,55                       | Stückgutfahrer |

### 3.5 Stoff- und Energiebilanzen (Sachbilanz)

Tabelle 3-11: Szenario OHNE ZUSATZ - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme)

| Input                           |                         | Output                               |                          |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Abfälle                         |                         | Abfälle                              |                          |
| Abfälle zur Verwertung          |                         | Abfälle zur Beseitigung              |                          |
| Metalle                         |                         | Abfälle aus Rauchgasreinigung        | 7,42E-09 kg              |
| Schrott (Eisen)                 | 9,32E-03 kg             | Abfälle aus REA                      | 2,32E-02 kg              |
| Schrott (NE)                    | 2,68E-06 kg             | Abfälle, hausmüllähnlich             | 3,66E-05 kg              |
| Schrott, unspez.                | 1,80E-03 kg             | Abfälle, unspezifiziert              | 6,94E-03 kg              |
| Chemische Grundstoffe           |                         | Abraum                               | 5,27E+00 kg              |
| Chem. Grundstoffe, anorg.       |                         | Aschen u. Schlacken                  | 1,27E-01 kg              |
| Ammoniumhydroxid                | 3,22E-03 kg             | Klärschlamm (30%TS)                  | 2,51E-01 kg              |
| Natriumhydroxid                 | 5,43E-04 kg             | Klärschlamm                          | 5,79E-04 kg              |
| Schwefelsäure                   | 2,22E-05 kg             | Kunststoffe, unspez.                 | 1,97E-07 kg              |
| Energieträger, sekundär         |                         | Metalle                              | 9,83E-08 kg              |
| Brennstoffe, fest/flüssig       |                         | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 2,18E-10 m <sup>3</sup>  |
| Biomasse (kg)                   | 3,77E+02 kg             | Sonderabfall                         | 1,44E-05 kg              |
| Koks                            | 5,23E-09 kg             | Sondermüll                           | 3,30E-07 kg              |
| Koks (HOK)                      | 8,06E-03 kg             | Untertagedeponiegut                  | 4,44E-03 kg              |
| Feinchemikalien                 |                         | Abfälle zur Verwertung               |                          |
| Fällungsmittel                  | 2,43E-03 kg             | Abfälle, unspez.                     | 9,47E+00 kg              |
| Kumulierter Energieaufwand      |                         | Aschen u. Schlacken                  | 1,02E+00 kg              |
| KEA (Kernenergie)               | 5,31E+03 kJ             | Filterstaub                          | 1,99E-04 kg              |
| KEA (Wasserkraft)               | 7,95E+02 kJ             | Gips (REA)                           | 2,04E-02 kg              |
| KEA solar                       | 9,02E+02 MJ             | Grobasche                            | 2,98E-05 kg              |
| KEA, fossil gesamt              | 3,26E+05 kJ             | Metalle                              |                          |
| KEA, regenerativ                | 6,22E+01 kJ             | Schrott (Eisen)                      | 1,08E-01 kg              |
| KEA, sonst. regenerative        | 1,07E+01 kJ             | Natriumsulfat                        | 6,54E-06 kg              |
| KEA, sonstige                   | 4,89E+02 kJ             | Organik                              |                          |
| KEA, unspez.                    | 1,43E+01 kJ             | Klärschlamm, 20 % TS                 | 1,32E-04 kg              |
| Mineralien und Erze             |                         | Schmelzkammergranulat                | 2,50E-04 kg              |
| Calciumhydroxid                 | 5,94E-02 kg             | Siebüberlauf                         | 4,85E-01 kg              |
| Naturraum                       |                         | Wertstoffe, gemischt                 | 4,77E-07 kg              |
| Fläche K6 (BRD)                 | 8,88E+01 m <sup>2</sup> | Wirbelschichtasche                   | 1,99E-05 kg              |
| Fläche K7 (BRD)                 | 3,96E-04 m <sup>2</sup> | Abfälle, unspezifiziert              | 4,14E-05 kg              |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL) |                         | Emissionen (Luft)                    |                          |
| Energieträger (RiL)             |                         | Abgas (trocken Normvolumen) (L)      | 3,58E+01 Nm <sup>3</sup> |
| Erdgas (RiL)                    | 3,80E+00 kg             | Abwärme (L)                          | 7,13E+02 kJ              |
| Erdöl (RiL)                     | 3,28E+00 kg             | Deponiegas, diffus (L)               | 9,26E-01 m <sup>3</sup>  |
| Kohlen (RiL)                    |                         | Partikel (L)                         | 5,51E-03 kg              |
| Braunkohle (RiL)                | 3,98E-01 kg             | Staub (>PM10) (L)                    | 8,10E-07 kg              |
| Kohle, unspez. (RiL)            | 7,37E-04 kg             | Staub (L)                            | 1,14E-02 kg              |
| Steinkohle (RiL)                | 1,25E+00 kg             | Staub (PM10) (L)                     | 1,89E-06 kg              |
| Uran (RiL)                      | 6,13E-07 kg             | Verbindungen, anorg. (L)             |                          |
| Nichtenergieträger (RiL)        |                         | Ammoniak (L)                         | 3,89E-01 kg              |

| Input                      |                         | Output                          |             |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------|
| Erze, unspez. (RiL)        | 3,05E-02 kg             | Chlorwasserstoff (L)            | 8,71E-04 kg |
| Mineralien und Erze (RiL)  |                         | Distickstoffmonoxid (L)         | 1,67E-01 kg |
| Bauxit (RiL)               | 7,02E-06 kg             | Fluor (L)                       | 8,03E-12 kg |
| Bentonit (RiL)             | 1,25E-06 kg             | Fluorwasserstoff (L)            | 8,26E-05 kg |
| Calciumsulfat (RiL)        | 1,26E-07 kg             | Kohlendioxid (L)                |             |
| Dolomit (RiL)              | 5,62E-08 kg             | Kohlendioxid, fossil (L)        | 1,41E+01 kg |
| Kalkstein (RiL)            | 9,45E-01 kg             | Kohlendioxid, regenerativ (L)   | 4,35E+00 kg |
| Kies (RiL)                 | 1,40E-08 kg             | Kohlendioxid, unspez. (L)       | 1,44E+01 kg |
| Natriumchlorid (RiL)       | 1,79E-02 kg             | Kohlenmonoxid (L)               | 1,74E-01 kg |
| Olivin (RiL)               | 4,21E-08 kg             | Metalle (L)                     |             |
| Rohkali (RiL)              | 3,72E+00 kg             | Antimon (L)                     | 1,73E-09 kg |
| Rohphosphat (RiL)          | 1,92E+00 kg             | Arsen (L)                       | 8,04E-08 kg |
| Sand (RiL)                 | 2,91E-05 kg             | Beryllium (L)                   | 1,30E-10 kg |
| Schiefer (RiL)             | 3,51E-07 kg             | Blei (L)                        | 3,32E-07 kg |
| Ton (RiL)                  | 2,53E-07 kg             | Cadmium (L)                     | 1,42E-07 kg |
| Mineralien, unspez. (RiL)  | 1,07E+01 kg             | Chrom (L)                       | 9,72E-08 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL) |                         | Kobalt (L)                      | 1,71E-09 kg |
| Metalle (RiL)              |                         | Kupfer (L)                      | 8,20E-08 kg |
| Eisen (Fe) (RiL)           | 1,55E-05 kg             | Mangan (L)                      | 1,25E-08 kg |
| Schwefel (RiL)             | 1,28E-01 kg             | Metalle, unspez. (L)            | 8,89E-08 kg |
| Stoffe, diverse            |                         | Nickel (L)                      | 4,36E-06 kg |
| Betriebsstoffe             |                         | Quecksilber (L)                 | 6,99E-08 kg |
| Aktivkohle                 | 3,60E-05 kg             | Selen (L)                       | 7,57E-09 kg |
| C-Donator                  | 5,94E-05 kg             | Thallium (L)                    | 8,11E-10 kg |
| Eisen(III)-chlorid         | 4,50E-05 kg             | Uran (L)                        | 3,72E-10 kg |
| Kalkmilch                  | 3,60E-04 kg             | Vanadium (L)                    | 9,13E-10 kg |
| Natronlauge                | 1,26E-04 kg             | Zink (L)                        | 1,68E-06 kg |
| P-Donator                  | 2,54E-06 kg             | Zinn (L)                        | 5,18E-09 kg |
| Reinigungschemikalien      | 1,75E-04 kg             | NOx (L)                         | 1,45E-01 kg |
| Fläche, unspezifiziert     | 8,96E+01 m <sup>2</sup> | Radionuklide (L)                |             |
| Hilfsstoffe                |                         | Radionuklide, gesamt (L)        | 3,74E+04 Bq |
| Hilfsstoffe, unspez.       | 1,06E-03 kg             | Schwefel (L)                    | 5,62E-11 kg |
| Luft                       | 1,62E-03 kg             | Schwefeldioxid (L)              | 3,86E-02 kg |
| Sekundärrohstoffe          | 1,97E-01 kg             | Schwefelwasserstoff (L)         | 1,08E-04 kg |
| Wasser                     |                         | Stickstoff (L)                  | 5,00E-04 kg |
| Brauch-/Trinkwasser        |                         | Wasserstoff (L)                 | 8,42E-08 kg |
| Kühlwasser                 | 2,34E+01 kg             | VOC (L)                         |             |
| Wasser (Kesselspeise)      | 5,16E+00 kg             | Kohlenwasserstoffe, unspez. (L) | 2,12E-04 kg |
| Wasser (Prozess)           | 6,57E-01 kg             | Methan (L)                      | 1,12E+00 kg |
| Wasser, unspez.            | 5,18E+02 kg             | Methan, regenerativ (L)         | 6,60E-02 kg |
|                            |                         | NM VOC (L)                      |             |
|                            |                         | NM VOC (Kohlenwasserstoffe) (L) | 2,96E-04 kg |
|                            |                         | NM VOC aus Dieselemiss. (L)     | 7,25E-03 kg |
|                            |                         | NM VOC, arom., unspez. (L)      | 7,02E-08 kg |
|                            |                         | NM VOC, halog. (L)              |             |
|                            |                         | NM VOC, chlor. (L)              |             |
|                            |                         | NM VOC, chlor, arom. (L)        |             |

| Input | Output                        |             |
|-------|-------------------------------|-------------|
|       | Chlorbenzole (L)              | 8,06E-10 kg |
|       | Chlorphenole (L)              | 1,61E-09 kg |
|       | PCB (L)                       | 6,89E-10 kg |
|       | PCDD, PCDF (L)                | 2,63E-12 kg |
|       | NMVOC, fluor. (L)             |             |
|       | Perfluorethan (L)             | 1,18E-09 kg |
|       | Perfluormethan (L)            | 9,34E-09 kg |
|       | NMVOC, nichthalog. (L)        |             |
|       | Aldehyde (L)                  |             |
|       | Formaldehyd (L)               | 1,07E-03 kg |
|       | Alkane (L)                    |             |
|       | Hexan (L)                     | 1,02E-08 kg |
|       | Aromatische Verbindungen (L)  |             |
|       | aromatische KW (L)            |             |
|       | Benzol (L)                    | 2,65E-04 kg |
|       | Biphenyl (L)                  | 1,05E-16 kg |
|       | PAK (L)                       |             |
|       | Acenaphtylen (L)              | 1,05E-15 kg |
|       | Benzo(a)pyren (L)             | 9,48E-09 kg |
|       | Dibenzo(a)pyren (L)           | 5,23E-17 kg |
|       | Fluoren (L)                   | 1,05E-16 kg |
|       | Naphtalin (L)                 | 5,23E-15 kg |
|       | PAK ohne B(a)P (L)            | 6,63E-06 kg |
|       | PAK, unspez. (L)              | 1,97E-09 kg |
|       | Phenantren (L)                | 1,05E-16 kg |
|       | NMVOC, unspez. (L)            | 7,14E-03 kg |
|       | TOC (L)                       | 9,63E-03 kg |
|       | VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)  | 1,70E-04 kg |
|       | VOC, unspez. (L)              | 2,68E-04 kg |
|       | Emissionen (Wasser)           |             |
|       | Emissionen (W)                |             |
|       | Abwärme (W)                   | 1,17E+02 kJ |
|       | Feststoffe, gelöst (W)        | 3,56E-06 kg |
|       | Feststoffe, suspendiert (W)   | 8,07E-04 kg |
|       | Verbindungen, anorganisch (W) |             |
|       | Bor (W)                       | 7,02E-12 kg |
|       | Carbonat (W)                  | 1,54E-06 kg |
|       | Chlor (W)                     | 7,57E-08 kg |
|       | Chlorid (W)                   | 7,99E-04 kg |
|       | Cyanid (W)                    | 6,61E-12 kg |
|       | Fluor (W)                     | 7,03E-10 kg |
|       | Fluorid (W)                   | 1,14E-08 kg |
|       | Metalle (W)                   |             |
|       | Aluminium (W)                 | 1,94E-09 kg |
|       | Antimon (W)                   | 8,67E-14 kg |
|       | Arsen (W)                     | 2,30E-08 kg |
|       | Barium (W)                    | 1,15E-09 kg |

| Input | Output                            |              |
|-------|-----------------------------------|--------------|
|       | Beryllium (W)                     | 1,51E-11 kg  |
|       | Blei (W)                          | 1,66E-07 kg  |
|       | Cadmium (W)                       | 3,78E-08 kg  |
|       | Calcium (W)                       | 1,51E-02 kg  |
|       | Chrom (W)                         | 4,70E-07 kg  |
|       | Cobalt (W)                        | 3,64E-12 kg  |
|       | Kaliumverbind. als K (W)          | 3,04E-02 kg  |
|       | Kupfer (W)                        | 3,49E-06 kg  |
|       | Magnesiumverbind. als Mg (W)      | 5,24E-03 kg  |
|       | Mangan (W)                        | 5,06E-08 kg  |
|       | Metalle, unspez. (W)              | 3,59E-06 kg  |
|       | Molybdän (W)                      | 6,29E-09 kg  |
|       | Natrium (W)                       | 8,94E-05 kg  |
|       | Nickel (W)                        | 3,70E-07 kg  |
|       | Quecksilber (W)                   | 7,10E-09 kg  |
|       | Selen (W)                         | 1,88E-09 kg  |
|       | Uran (W)                          | 8,34E-09 kg  |
|       | Vanadium (W)                      | 4,86E-09 kg  |
|       | Zink (W)                          | 8,70E-06 kg  |
|       | Zinn (W)                          | 3,69E-12 kg  |
|       | Phosphorverbind. als P (W)        | 7,65E-05 kg  |
|       | Radionuklide (W)                  |              |
|       | Radionuklide, gesamt (W)          | 2,23E+02 kBq |
|       | Salze, anorg. (W)                 | 1,66E-01 kg  |
|       | Säuren als H(+) (W)               | 7,39E-06 kg  |
|       | Stickstoffverbindungen (W)        |              |
|       | Ammoniak (W)                      | 2,53E-08 kg  |
|       | Ammonium (W)                      | 1,53E-03 kg  |
|       | Nitrat (W)                        | 1,69E-02 kg  |
|       | Salpetersäure (W)                 | 1,18E-09 kg  |
|       | Stickstoffverb., unspez. (W)      | 4,21E-08 kg  |
|       | Stickstoffverbind. als N (W)      | 1,25E-04 kg  |
|       | Sulfat (W)                        | 1,67E-04 kg  |
|       | Sulfid (W)                        | 7,69E-11 kg  |
|       | Verbindungen, organisch (W)       |              |
|       | halog. org. Verbindungen (W)      |              |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)      |              |
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)  |              |
|       | PCB (W)                           | 1,21E-11 kg  |
|       | Kohlenstoff, organisch (W)        | 2,85E-03 kg  |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W) |              |
|       | KW (W)                            |              |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W)   | 7,30E-07 kg  |
|       | Öl (W)                            | 2,95E-15 kg  |
|       | Öl, Detergenzien (W)              | 1,54E-06 kg  |
|       | PAK (W)                           |              |
|       | Benzo(a)pyren (W)                 | 5,20E-16 kg  |

| Input | Output                                        |                         |
|-------|-----------------------------------------------|-------------------------|
|       | PAK ohne B(a)P (W)                            | 2,60E-11 kg             |
|       | Phenole (W)                                   | 2,81E-08 kg             |
|       | Verbindungen, org., gelöst (W)                | 4,35E-07 kg             |
|       | Verbindungen, org., unspez. (W)               | 5,62E-08 kg             |
|       | Indikatorparameter                            |                         |
|       | AOX (W)                                       | 2,21E-07 kg             |
|       | BSB-5 (W)                                     | 1,46E-03 kg             |
|       | CSB (W)                                       | 9,51E-03 kg             |
|       | TOC (W)                                       | 1,19E-07 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus (W)                      | 4,59E+02 kg             |
|       | Energieträger, sekundär                       |                         |
|       | Energie, elektrisch                           | 1,09E+04 kJ             |
|       | Energie, thermisch                            | 2,83E+04 kJ             |
|       | Feinchemikalien                               |                         |
|       | Dünger                                        |                         |
|       | K-Dünger (als K <sub>2</sub> O)               | 1,02E+00 kg             |
|       | N-Dünger (als N)                              | 1,71E+00 kg             |
|       | P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 1,07E+00 kg             |
|       | Mineralien                                    |                         |
|       | Gips (REA)                                    | 1,43E-04 kg             |
|       | Naturraum                                     |                         |
|       | Deponievolumen                                | 7,92E-03 m <sup>3</sup> |
|       | Landwirtschaftliche Fläche                    | 8,88E+01 m <sup>2</sup> |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert        | 3,63E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert      | 1,01E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel.         | 5,51E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Stoffe, diverse                               |                         |
|       | Abgas                                         | 1,05E-05 kg             |
|       | Gülle, Feststoff auf dem Feld                 | 2,92E+01 kg             |
|       | Lebendmassezuwachs                            | 5,80E+01 kg             |
|       | Wasser                                        |                         |
|       | Abwasser                                      |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung)                 | 5,16E+00 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                         | 1,05E+01 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                            | 1,21E-03 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                             | 3,45E+02 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                             | 1,62E-01 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus                          | 8,24E-02 kg             |
|       | Sickerwasser, gefaßt                          | 2,04E-06 kg             |
|       | Wasserdampf                                   | 2,31E+01 kg             |

Tabelle 3-12: Szenario OHNE ZUSATZ - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme)

| Input                                         |                         | Output                               |                         |
|-----------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Chemische Grundstoffe                         |                         | Abfälle                              |                         |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                     |                         | Abfälle zur Beseitigung              |                         |
| Natriumhydroxid                               | 3,02E-04 kg             | Abfälle aus Kalisalzgewinnung        | 4,69E+00 kg             |
| Schwefelsäure                                 | 1,21E-06 kg             | Abfälle aus REA                      | 1,46E-03 kg             |
| Chemikalien, org., unspez.                    | 1,02E-02 kg             | Abfälle, hausmüllähnlich             | 7,35E-04 kg             |
| Energieträger, primär                         |                         | Abfälle, unspezifiziert              | 2,92E-06 kg             |
| Energieträger, fossil                         |                         | Abraum                               | 1,13E+01 kg             |
| Erdöl                                         | 2,93E-01 kg             | Aschen u. Schlacken                  | 2,12E-03 kg             |
| Kohle                                         |                         | Klärschlamm                          | 1,09E-04 kg             |
| Braunkohle                                    | 4,53E-03 kg             | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 8,15E-12 m <sup>3</sup> |
| Steinkohle                                    | 2,04E-03 kg             | Sonderabfall                         | 3,33E-04 kg             |
| Energieträger, sekundär                       |                         | Abfälle zur Verwertung               |                         |
| Brennstoffe, gasförmig                        |                         | Aschen u. Schlacken                  | 2,00E-02 kg             |
| Erdgas                                        | 6,13E-03 kg             | Filterstaub                          | 7,04E-03 kg             |
| Energie, elektrisch                           | 1,09E+04 kJ             | Gips (REA)                           | 2,84E-02 kg             |
| Energie, thermisch                            | 2,83E+04 kJ             | Grobasche                            | 1,05E-03 kg             |
| Feinchemikalien                               |                         | Natriumsulfat                        | 2,31E-04 kg             |
| Dünger                                        |                         | Schmelzkammergranulat                | 8,82E-03 kg             |
| K-Dünger (als K <sub>2</sub> O)               | 1,02E+00 kg             | Wirbelschichtasche                   | 7,04E-04 kg             |
| N-Dünger (als N)                              | 1,71E+00 kg             | Abfälle, unspezifiziert              | 6,24E-03 kg             |
| P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 1,07E+00 kg             | Emissionen (Luft)                    |                         |
| Kumulierter Energieaufwand                    |                         | Abwärme (L)                          | 1,46E+04 kJ             |
| KEA (Kernenergie)                             | 1,41E+04 kJ             | Partikel (L)                         | 1,27E-03 kg             |
| KEA (Wasserkraft)                             | 1,82E+02 kJ             | Staub (>PM10) (L)                    | 8,08E-04 kg             |
| KEA, fossil gesamt                            | 1,53E+05 kJ             | Staub (L)                            | 2,02E-03 kg             |
| KEA, regenerativ                              | 3,01E+01 kJ             | Staub (PM10) (L)                     | 1,14E-03 kg             |
| KEA, sonst. regenerative                      | 3,79E+02 kJ             | Staub (PM2,5) (L)                    | 9,77E-04 kg             |
| KEA, sonstige                                 | 5,36E+01 kJ             | Verbindungen, anorg. (L)             |                         |
| KEA, unspez.                                  | 1,23E-06 kJ             | Ammoniak (L)                         | 2,71E-03 kg             |
| Mineralien und Erze                           |                         | Chlorwasserstoff (L)                 | 4,86E-04 kg             |
| Kalkstein                                     | 4,45E-05 kg             | Distickstoffmonoxid (L)              | 3,30E-02 kg             |
| Naturraum                                     |                         | Fluor (L)                            | 2,84E-10 kg             |
| Fläche K5 (BRD)                               | 8,90E+00 m <sup>2</sup> | Fluorwasserstoff (L)                 | 2,87E-05 kg             |
| Landwirtschaftliche Fläche                    | 8,88E+01 m <sup>2</sup> | Kohlendioxid (L)                     |                         |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL)               |                         | Kohlendioxid, fossil (L)             | 1,07E+01 kg             |
| Energieträger (RiL)                           |                         | Kohlenmonoxid (L)                    | 9,09E-03 kg             |
| Erdgas (RiL)                                  | 1,94E+00 kg             | Metalle (L)                          |                         |
| Erdöl (RiL)                                   | 8,36E-01 kg             | Antimon (L)                          | 3,83E-09 kg             |
| Kohlen (RiL)                                  |                         | Arsen (L)                            | 3,88E-08 kg             |
| Braunkohle (RiL)                              | 1,61E+00 kg             | Beryllium (L)                        | 4,59E-09 kg             |
| Steinkohle (RiL)                              | 5,64E-01 kg             | Blei (L)                             | 4,97E-08 kg             |
| Uran (RiL)                                    | 2,16E-05 kg             | Cadmium (L)                          | 2,02E-08 kg             |
| Nichtenergieträger (RiL)                      |                         | Chrom (L)                            | 2,15E-08 kg             |
| Mineralien und Erze (RiL)                     |                         | Kobalt (L)                           | 3,32E-09 kg             |

| Input                        |             | Output                        |             |
|------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Kalkstein (RiL)              | 4,38E-02 kg | Kupfer (L)                    | 1,71E-08 kg |
| Natriumchlorid (RiL)         | 2,34E-04 kg | Mangan (L)                    | 1,67E-08 kg |
| Rohphosphat (RiL)            | 3,36E+00 kg | Nickel (L)                    | 7,79E-07 kg |
| Sand (RiL)                   | 8,22E-04 kg | Quecksilber (L)               | 4,50E-08 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL)   |             | Selen (L)                     | 2,67E-07 kg |
| Schwefel (RiL)               | 4,95E-01 kg | Thallium (L)                  | 7,11E-10 kg |
| Sylvit, 25% in Syvinit (RiL) | 1,94E+00 kg | Uran (L)                      | 1,31E-08 kg |
| Wasser                       |             | Vanadium (L)                  | 3,68E-09 kg |
| Brauch-/Trinkwasser          |             | Zink (L)                      | 1,25E-07 kg |
| Kühlwasser                   | 7,28E+02 kg | Zinn (L)                      | 1,29E-08 kg |
| Wasser (Kesselspeise)        | 1,80E+02 kg | NOx (L)                       | 4,99E-02 kg |
| Wasser (Prozess)             | 3,12E-01 kg | Radionuklide (L)              |             |
| Wasser, unspez.              | 3,63E+00 kg | Radionuklide, gesamt (L)      | 1,32E+06 Bq |
|                              |             | Schwefel (L)                  | 1,99E-09 kg |
|                              |             | Schwefeldioxid (L)            | 2,76E-02 kg |
|                              |             | Schwefelwasserstoff (L)       | 2,49E-08 kg |
|                              |             | VOC (L)                       |             |
|                              |             | Methan (L)                    | 1,89E-02 kg |
|                              |             | NMVOC (L)                     |             |
|                              |             | NMVOC, halog. (L)             |             |
|                              |             | NMVOC, chlor. (L)             |             |
|                              |             | NMVOC, chlor, aromat. (L)     |             |
|                              |             | Chlorbenzole (L)              | 2,27E-16 kg |
|                              |             | Chlorphenole (L)              | 4,53E-16 kg |
|                              |             | PCB (L)                       | 2,27E-18 kg |
|                              |             | PCDD, PCDF (L)                | 2,79E-10 kg |
|                              |             | NMVOC, fluor. (L)             |             |
|                              |             | Perfluorethan (L)             | 1,05E-10 kg |
|                              |             | Perfluormethan (L)            | 2,02E-10 kg |
|                              |             | NMVOC, nichthalog. (L)        |             |
|                              |             | Aldehyde (L)                  |             |
|                              |             | Formaldehyd (L)               | 2,04E-04 kg |
|                              |             | Alkane (L)                    |             |
|                              |             | Hexan (L)                     | 3,59E-07 kg |
|                              |             | Aromatische Verbindungen (L)  |             |
|                              |             | aromatische KW (L)            |             |
|                              |             | Benzol (L)                    | 5,42E-05 kg |
|                              |             | PAK (L)                       |             |
|                              |             | Benzo(a)anthrazen (L)         | 5,31E-12 kg |
|                              |             | Benzo(a)pyren (L)             | 1,39E-08 kg |
|                              |             | PAK ohne B(a)P (L)            | 2,12E-08 kg |
|                              |             | NMVOC, unspez. (L)            | 3,17E-03 kg |
|                              |             | VOC, unspez. (L)              | 4,63E-08 kg |
|                              |             | Emissionen (Wasser)           |             |
|                              |             | Emissionen (W)                |             |
|                              |             | Abwärme (W)                   | 4,23E+03 kJ |
|                              |             | Verbindungen, anorganisch (W) |             |

| Input | Output                       |              |
|-------|------------------------------|--------------|
|       | Bor (W)                      | 2,48E-10 kg  |
|       | Chlor (W)                    | 2,67E-06 kg  |
|       | Chlorid (W)                  | 1,29E-01 kg  |
|       | Cyanid (W)                   | 2,33E-10 kg  |
|       | Fluor (W)                    | 2,48E-08 kg  |
|       | Fluorid (W)                  | 4,03E-07 kg  |
|       | Metalle (W)                  |              |
|       | Aluminium (W)                | 6,86E-08 kg  |
|       | Antimon (W)                  | 3,06E-12 kg  |
|       | Arsen (W)                    | 4,72E-06 kg  |
|       | Barium (W)                   | 4,06E-08 kg  |
|       | Beryllium (W)                | 5,35E-10 kg  |
|       | Blei (W)                     | 2,13E-05 kg  |
|       | Cadmium (W)                  | 4,72E-06 kg  |
|       | Calcium (W)                  | 2,14E-03 kg  |
|       | Chrom (W)                    | 2,37E-05 kg  |
|       | Cobalt (W)                   | 1,29E-10 kg  |
|       | Kalium (W)                   | 1,65E-03 kg  |
|       | Kupfer (W)                   | 2,36E-05 kg  |
|       | Magnesium (W)                | 1,24E-02 kg  |
|       | Mangan (W)                   | 1,79E-06 kg  |
|       | Molybdän (W)                 | 2,22E-07 kg  |
|       | Natrium (W)                  | 7,54E-02 kg  |
|       | Nickel (W)                   | 1,83E-05 kg  |
|       | Quecksilber (W)              | 4,51E-06 kg  |
|       | Selen (W)                    | 6,64E-08 kg  |
|       | Uran (W)                     | 2,95E-07 kg  |
|       | Vanadium (W)                 | 1,72E-07 kg  |
|       | Zink (W)                     | 2,81E-05 kg  |
|       | Zinn (W)                     | 1,30E-10 kg  |
|       | Phosphat (W)                 | 5,72E-05 kg  |
|       | Phosphorverbind. als P (W)   | 5,62E-09 kg  |
|       | Radionuklide (W)             |              |
|       | Radionuklide, gesamt (W)     | 7,86E+03 kBq |
|       | Salze, anorg. (W)            | 3,83E-09 kg  |
|       | Schwefel (W)                 | 1,28E-02 kg  |
|       | Stickstoffverbindungen (W)   |              |
|       | Ammoniak (W)                 | 8,92E-07 kg  |
|       | Ammonium (W)                 | 1,26E-03 kg  |
|       | Nitrat (W)                   | 4,96E-07 kg  |
|       | Salpetersäure (W)            | 4,17E-08 kg  |
|       | Stickstoffverbind. als N (W) | 9,31E-08 kg  |
|       | Sulfat (W)                   | 1,86E-03 kg  |
|       | Sulfid (W)                   | 2,71E-09 kg  |
|       | Verbindungen, organisch (W)  |              |
|       | halog. org. Verbindungen (W) |              |
|       | chlor. org. Verbindungen (W) |              |

| Input | Output                                                           |
|-------|------------------------------------------------------------------|
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)                                 |
|       | PCB (W) 3,00E-13 kg                                              |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)                                |
|       | KW (W)                                                           |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W) 2,82E-09 kg                      |
|       | Öl (W) 1,04E-13 kg                                               |
|       | PAK (W)                                                          |
|       | Benzo(a)pyren (W) 1,84E-14 kg                                    |
|       | PAK ohne B(a)P (W) 1,65E-14 kg                                   |
|       | Phenole (W) 3,43E-10 kg                                          |
|       | Indikatorparameter                                               |
|       | AOX (W) 4,23E-10 kg                                              |
|       | BSB-5 (W) 1,02E-07 kg                                            |
|       | CSB (W) 8,19E-07 kg                                              |
|       | TOC (W) 4,19E-06 kg                                              |
|       | Hilfsgrößen                                                      |
|       | Feldarbeiten Grünbrache 8,88E-03 E                               |
|       | Import Materials                                                 |
|       | Sondermüll 2,42E-05 kg                                           |
|       | Naturraum                                                        |
|       | Deponievolumen 1,31E-05 m <sup>3</sup>                           |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert 1,28E-08 m <sup>3</sup>   |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert 3,58E-09 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel. 1,94E-08 m <sup>3</sup>    |
|       | Wasser                                                           |
|       | Abwasser                                                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung) 1,80E+02 kg                        |
|       | Abwasser (Kühlwasser) 2,60E+02 kg                                |
|       | Abwasser (Prozess) 3,35E-02 kg                                   |
|       | Abwasser, geklärt 3,00E-03 kg                                    |
|       | Abwasser, unspez. 6,01E-03 kg                                    |
|       | Sickerwasser, diffus 3,55E-04 kg                                 |
|       | Sickerwasser, gefaßt 7,22E-05 kg                                 |
|       | Wasserdampf 4,56E+02 kg                                          |

Tabelle 3-13: Szenario PROBIOTIKA - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme)

| Input                           |                         | Output                               |                          |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Abfälle                         |                         | Abfälle                              |                          |
| Abfälle zur Verwertung          |                         | Abfälle zur Beseitigung              |                          |
| Abfälle                         |                         | Abfälle                              |                          |
| Abfälle zur Verwertung          |                         | Abfälle zur Beseitigung              |                          |
| Metalle                         |                         | Abfälle (Reststoffdeponie)           | 2,38E-08 kg              |
| Schrott (Eisen)                 | 8,88E-03 kg             | Abfälle aus Rauchgasreinigung        | 7,16E-09 kg              |
| Schrott (NE)                    | 2,56E-06 kg             | Abfälle aus REA                      | 2,21E-02 kg              |
| Schrott, un spez.               | 1,73E-03 kg             | Abfälle, hausmüllähnlich             | 3,61E-05 kg              |
| Chemische Grundstoffe           |                         | Abfälle, unspezifiziert              | 6,62E-03 kg              |
| Chem. Grundstoffe, anorg.       |                         | Abraum                               | 5,04E+00 kg              |
| Ammoniak                        | 2,29E-06 kg             | Aschen u. Schlacken                  | 1,21E-01 kg              |
| Ammoniumhydroxid                | 3,07E-03 kg             | Klärschlamm (30%TS)                  | 2,42E-01 kg              |
| Chlorwasserstoff                | 5,14E-08 kg             | Klärschlamm                          | 5,52E-04 kg              |
| Natriumhydroxid                 | 5,25E-04 kg             | Kunststoffe, un spez.                | 1,90E-07 kg              |
| Salzsäure                       | 1,09E-05 kg             | Metalle                              | 9,48E-08 kg              |
| Schwefelsäure                   | 2,14E-05 kg             | Papier, Pappe                        | 1,23E-04 kg              |
| Energieträger, sekundär         |                         | PE/PP                                | 4,09E-05 kg              |
| Brennstoffe, fest/flüssig       |                         | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 2,08E-10 m <sup>3</sup>  |
| Biomasse (kg)                   | 3,59E+02 kg             | Sonderabfall                         | 1,39E-05 kg              |
| Koks                            | 5,05E-09 kg             | Sondermüll                           | 3,15E-07 kg              |
| Koks (HOK)                      | 7,68E-03 kg             | Untertagedeponiegut                  | 4,27E-03 kg              |
| Schweröl                        | 3,09E-05 kg             | Abfälle zur Verwertung               |                          |
| Brennstoffe, gasförmig          |                         | Abfälle, un spez.                    | 9,02E+00 kg              |
| Erdgas                          | 6,77E-03 kg             | Aschen u. Schlacken                  | 9,69E-01 kg              |
| Feinchemikalien                 |                         | Filterstaub                          | 2,01E-04 kg              |
| Fällungsmittel                  | 2,32E-03 kg             | Gips (REA)                           | 1,95E-02 kg              |
| Kumulierter Energieaufwand      |                         | Grobasche                            | 3,01E-05 kg              |
| KEA (Kernenergie)               | 5,09E+03 kJ             | Metalle                              |                          |
| KEA (Wasserkraft)               | 7,58E+02 kJ             | Schrott (Eisen)                      | 1,03E-01 kg              |
| KEA solar                       | 8,59E+02 MJ             | Natriumsulfat                        | 6,60E-06 kg              |
| KEA, fossil gesamt              | 3,11E+05 kJ             | Organik                              |                          |
| KEA, regenerativ                | 5,93E+01 kJ             | Klärschlamm, 20 % TS                 | 5,87E-04 kg              |
| KEA, sonst. regenerative        | 1,08E+01 kJ             | Schmelzkammergranulat                | 2,52E-04 kg              |
| KEA, sonstige                   | 4,66E+02 kJ             | Siebüberlauf                         | 4,68E-01 kg              |
| KEA, un spez.                   | 1,38E+01 kJ             | Wertstoffe, gemischt                 | 4,60E-07 kg              |
| Mineralien und Erze             |                         | Wirbelschichtasche                   | 2,01E-05 kg              |
| Calciumhydroxid                 | 5,66E-02 kg             | Abfälle, unspezifiziert              | 3,95E-05 kg              |
| Kalk                            | 8,85E-09 kg             | Emissionen (Luft)                    |                          |
| Kalkstein                       | 3,35E-13 kg             | Abgas (trocken Nomvol.)              | 5,84E-04 Nm <sup>3</sup> |
| Naturraum                       |                         | Abgas (trocken Normvolumen) (L)      | 3,44E+01 Nm <sup>3</sup> |
| Fläche K6 (BRD)                 | 8,46E+01 m <sup>2</sup> | Abwärme (L)                          | 7,12E+02 kJ              |
| Fläche K7 (BRD)                 | 3,78E-04 m <sup>2</sup> | Deponiegas, diffus (L)               | 8,84E-01 m3              |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL) |                         | Partikel (L)                         | 5,29E-03 kg              |
| Energieträger (RiL)             |                         | Staub (>PM10) (L)                    | 8,19E-07 kg              |
| Erdgas (RiL)                    | 3,62E+00 kg             | Staub (L)                            | 1,09E-02 kg              |

| Input                      |             | Output                          |             |
|----------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| Erdöl (RiL)                | 3,14E+00 kg | Staub (PM10) (L)                | 1,91E-06 kg |
| Kohlen (RiL)               |             | Verbindungen, anorg. (L)        |             |
| Braunkohle (RiL)           | 3,81E-01 kg | Ammoniak (L)                    | 3,74E-01 kg |
| Kohle, unspez. (RiL)       | 7,03E-04 kg | Chlorwasserstoff (L)            | 8,31E-04 kg |
| Steinkohle (RiL)           | 1,19E+00 kg | Distickstoffmonoxid (L)         | 1,60E-01 kg |
| Uran (RiL)                 | 6,19E-07 kg | Fluor (L)                       | 8,11E-12 kg |
| Nichtenergieträger (RiL)   |             | Fluorwasserstoff (L)            | 7,90E-05 kg |
| Erze, unspez. (RiL)        | 2,90E-02 kg | Kohlendioxid (L)                |             |
| Mineralien und Erze (RiL)  |             | Kohlendioxid, fossil (L)        | 1,35E+01 kg |
| Bauxit (RiL)               | 6,77E-06 kg | Kohlendioxid, regenerativ (L)   | 4,17E+00 kg |
| Bentonit (RiL)             | 1,20E-06 kg | Kohlendioxid, unspez. (L)       | 1,37E+01 kg |
| Calciumsulfat (RiL)        | 1,22E-07 kg | Kohlenmonoxid (L)               | 1,66E-01 kg |
| Dolomit (RiL)              | 5,42E-08 kg | Metalle (L)                     |             |
| Kalkstein (RiL)            | 9,00E-01 kg | Antimon (L)                     | 1,65E-09 kg |
| Kies (RiL)                 | 1,35E-08 kg | Arsen (L)                       | 7,69E-08 kg |
| Natriumchlorid (RiL)       | 1,77E-02 kg | Beryllium (L)                   | 1,31E-10 kg |
| Olivin (RiL)               | 4,06E-08 kg | Blei (L)                        | 3,16E-07 kg |
| Rohkali (RiL)              | 3,54E+00 kg | Cadmium (L)                     | 1,36E-07 kg |
| Rohphosphat (RiL)          | 1,83E+00 kg | Chrom (L)                       | 9,29E-08 kg |
| Sand (RiL)                 | 2,93E-05 kg | Kobalt (L)                      | 1,64E-09 kg |
| Schiefer (RiL)             | 3,38E-07 kg | Kupfer (L)                      | 7,82E-08 kg |
| Ton (RiL)                  | 2,44E-07 kg | Mangan (L)                      | 1,19E-08 kg |
| Mineralien, unspez. (RiL)  | 1,02E+01 kg | Metalle, unspez. (L)            | 8,75E-08 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL) |             | Nickel (L)                      | 4,18E-06 kg |
| Metalle (RiL)              |             | Quecksilber (L)                 | 6,67E-08 kg |
| Eisen (Fe) (RiL)           | 1,54E-05 kg | Selen (L)                       | 7,64E-09 kg |
| Schwefel (RiL)             | 1,22E-01 kg | Thallium (L)                    | 7,74E-10 kg |
| Stoffe, diverse            |             | Uran (L)                        | 3,76E-10 kg |
| Alpha-Amylase (Enzym)      | 1,32E-06 kg | Vanadium (L)                    | 8,76E-10 kg |
| Betriebsstoffe             |             | Zink (L)                        | 1,60E-06 kg |
| Aktivkornkohle             | 3,51E-05 kg | Zinn (L)                        | 4,96E-09 kg |
| C-Donator                  | 5,65E-05 kg | NOx (L)                         | 1,39E-01 kg |
| Eisen(III)-chlorid         | 4,33E-05 kg | Radionuklide (L)                |             |
| Kalkmilch                  | 3,47E-04 kg | Radionuklide, gesamt (L)        | 3,78E+04 Bq |
| Natronlauge                | 1,20E-04 kg | Schwefel (L)                    | 5,68E-11 kg |
| P-Donator                  | 2,42E-06 kg | Schwefeldioxid (L)              | 3,68E-02 kg |
| Reinigungschemikalien      | 1,69E-04 kg | Schwefelwasserstoff (L)         | 1,04E-04 kg |
| Calciumchlorid             | 1,32E-06 kg | Stickstoff (L)                  | 4,83E-04 kg |
| Emulgator                  | 4,09E-05 kg | Wasserstoff (L)                 | 8,12E-08 kg |
| Fläche, unspezifiziert     | 8,53E+01 m2 | VOC (L)                         |             |
| Hilfsstoffe                |             | Kohlenwasserstoffe, unspez. (L) | 2,02E-04 kg |
| Hilfsstoffe, unspez.       | 1,02E-03 kg | Methan (L)                      | 1,08E+00 kg |
| Kieselgur                  | 2,55E-06 kg | Methan, regenerativ (L)         | 6,36E-02 kg |
| Luft                       | 1,54E-03 kg | NM VOC (L)                      |             |
| Magnesiumsulfat            | 8,79E-07 kg | NM VOC (Kohlenwasserstoffe) (L) | 2,85E-04 kg |
| Natriumbisulfid            | 1,87E-06 kg | NM VOC aus Dieselemiss. (L)     | 6,99E-03 kg |
| Natriumkarbonat            | 1,32E-06 kg | NM VOC, arom., unspez. (L)      | 6,77E-08 kg |

| Input                 |             | Output                        |             |
|-----------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Sekundärrohstoffe     | 1,88E-01 kg | NMVOC, halog. (L)             |             |
| Spurenelemente        | 2,05E-05 kg | NMVOC, chlor. (L)             |             |
| Wasser                |             | NMVOC, chlor, aromat. (L)     |             |
| Brauch-/Trinkwasser   |             | Chlorbenzole (L)              | 7,68E-10 kg |
| Kühlwasser            | 2,35E+01 kg | Chlorphenole (L)              | 1,54E-09 kg |
| Wasser (Kesselspeise) | 5,21E+00 kg | PCB (L)                       | 6,57E-10 kg |
| Wasser (Prozess)      | 6,26E-01 kg | PCDD, PCDF (L)                | 2,50E-12 kg |
| Wasser, unspez.       | 4,94E+02 kg | NMVOC, fluor. (L)             |             |
|                       |             | Perfluorethan (L)             | 1,12E-09 kg |
|                       |             | Perfluormethan (L)            | 8,90E-09 kg |
|                       |             | NMVOC, nichthalog. (L)        |             |
|                       |             | Aldehyde (L)                  |             |
|                       |             | Formaldehyd (L)               | 1,03E-03 kg |
|                       |             | Alkane (L)                    |             |
|                       |             | Hexan (L)                     | 1,03E-08 kg |
|                       |             | Aromatische Verbindungen (L)  |             |
|                       |             | aromatische KW (L)            |             |
|                       |             | Benzol (L)                    | 2,54E-04 kg |
|                       |             | Biphenyl (L)                  | 1,01E-16 kg |
|                       |             | PAK (L)                       |             |
|                       |             | Acenaphtylen (L)              | 1,01E-15 kg |
|                       |             | Benzo(a)pyren (L)             | 9,05E-09 kg |
|                       |             | Dibenzo(a)pyren (L)           | 5,05E-17 kg |
|                       |             | Fluoren (L)                   | 1,01E-16 kg |
|                       |             | Naphtalin (L)                 | 5,05E-15 kg |
|                       |             | PAK ohne B(a)P (L)            | 6,39E-06 kg |
|                       |             | PAK, unspez. (L)              | 1,90E-09 kg |
|                       |             | Phenantren (L)                | 1,01E-16 kg |
|                       |             | NMVOC, unspez. (L)            | 6,81E-03 kg |
|                       |             | TOC (L)                       | 9,28E-03 kg |
|                       |             | VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)  | 1,69E-04 kg |
|                       |             | VOC, unspez. (L)              | 2,58E-04 kg |
|                       |             | Emissionen (Wasser)           |             |
|                       |             | Emissionen (W)                |             |
|                       |             | Abwärme (W)                   | 1,18E+02 kJ |
|                       |             | Feststoffe, gelöst (W)        | 3,47E-06 kg |
|                       |             | Feststoffe, suspendiert (W)   | 7,80E-04 kg |
|                       |             | Verbindungen, anorganisch (W) |             |
|                       |             | Bor (W)                       | 7,09E-12 kg |
|                       |             | Carbonat (W)                  | 1,49E-06 kg |
|                       |             | Chlor (W)                     | 7,65E-08 kg |
|                       |             | Chlorid (W)                   | 7,96E-04 kg |
|                       |             | Cyanid (W)                    | 6,68E-12 kg |
|                       |             | Fluor (W)                     | 7,10E-10 kg |
|                       |             | Fluorid (W)                   | 1,15E-08 kg |
|                       |             | Metalle (W)                   |             |
|                       |             | Aluminium (W)                 | 1,96E-09 kg |

| Input | Output                            |              |
|-------|-----------------------------------|--------------|
|       | Antimon (W)                       | 8,76E-14 kg  |
|       | Arsen (W)                         | 2,21E-08 kg  |
|       | Barium (W)                        | 1,16E-09 kg  |
|       | Beryllium (W)                     | 1,53E-11 kg  |
|       | Blei (W)                          | 1,61E-07 kg  |
|       | Cadmium (W)                       | 3,63E-08 kg  |
|       | Calcium (W)                       | 1,46E-02 kg  |
|       | Chrom (W)                         | 4,54E-07 kg  |
|       | Cobalt (W)                        | 3,68E-12 kg  |
|       | Kaliumverbind. als K (W)          | 2,93E-02 kg  |
|       | Kupfer (W)                        | 3,37E-06 kg  |
|       | Magnesiumverbind. als Mg (W)      | 5,05E-03 kg  |
|       | Mangan (W)                        | 5,11E-08 kg  |
|       | Metalle, unspez. (W)              | 3,53E-06 kg  |
|       | Molybdän (W)                      | 6,36E-09 kg  |
|       | Natrium (W)                       | 8,99E-05 kg  |
|       | Nickel (W)                        | 3,57E-07 kg  |
|       | Quecksilber (W)                   | 6,84E-09 kg  |
|       | Selen (W)                         | 1,90E-09 kg  |
|       | Uran (W)                          | 8,43E-09 kg  |
|       | Vanadium (W)                      | 4,91E-09 kg  |
|       | Zink (W)                          | 8,39E-06 kg  |
|       | Zinn (W)                          | 3,73E-12 kg  |
|       | Phosphorverbind. als P (W)        | 7,38E-05 kg  |
|       | Radionuklide (W)                  |              |
|       | Radionuklide, gesamt (W)          | 2,25E+02 kBq |
|       | Salze, anorg. (W)                 | 1,58E-01 kg  |
|       | Säuren als H(+) (W)               | 7,36E-06 kg  |
|       | Stickstoffverbindungen (W)        |              |
|       | Ammoniak (W)                      | 2,55E-08 kg  |
|       | Ammonium (W)                      | 1,48E-03 kg  |
|       | Nitrat (W)                        | 1,63E-02 kg  |
|       | Salpetersäure (W)                 | 1,19E-09 kg  |
|       | Stickstoffverb., unspez. (W)      | 4,06E-08 kg  |
|       | Stickstoffverbind. als N (W)      | 1,20E-04 kg  |
|       | Sulfat (W)                        | 1,67E-04 kg  |
|       | Sulfid (W)                        | 7,77E-11 kg  |
|       | Verbindungen, organisch (W)       |              |
|       | halog. org. Verbindungen (W)      |              |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)      |              |
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)  |              |
|       | PCB (W)                           | 1,16E-11 kg  |
|       | Kohlenstoff, organisch (W)        | 2,75E-03 kg  |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W) |              |
|       | KW (W)                            |              |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W)   | 7,04E-07 kg  |
|       | Öl (W)                            | 2,98E-15 kg  |

| Input | Output                                        |                         |
|-------|-----------------------------------------------|-------------------------|
|       | Öl, Detergenzien (W)                          | 1,49E-06 kg             |
|       | PAK (W)                                       |                         |
|       | Benzo(a)pyren (W)                             | 5,26E-16 kg             |
|       | PAK ohne B(a)P (W)                            | 2,50E-11 kg             |
|       | Phenole (W)                                   | 2,71E-08 kg             |
|       | Verbindungen, org., gelöst (W)                | 4,20E-07 kg             |
|       | Verbindungen, org., unspez. (W)               | 5,42E-08 kg             |
|       | Indikatorparameter                            |                         |
|       | AOX (W)                                       | 2,18E-07 kg             |
|       | BSB-5 (W)                                     | 1,41E-03 kg             |
|       | CSB (W)                                       | 9,16E-03 kg             |
|       | TOC (W)                                       | 1,20E-07 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus (W)                      | 4,42E+02 kg             |
|       | Energieträger, sekundär                       |                         |
|       | Energie, elektrisch                           | 1,04E+04 kJ             |
|       | Energie, thermisch                            | 2,72E+04 kJ             |
|       | Feinchemikalien                               |                         |
|       | Dünger                                        |                         |
|       | K-Dünger (als K <sub>2</sub> O)               | 9,88E-01 kg             |
|       | N-Dünger (als N)                              | 1,65E+00 kg             |
|       | P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 1,04E+00 kg             |
|       | Import Materials                              |                         |
|       | Staub (PM 10) (L)                             | 2,09E-09 kg             |
|       | Mineralien                                    |                         |
|       | Gips (REA)                                    | 1,37E-04 kg             |
|       | Naturraum                                     |                         |
|       | Deponievolumen                                | 7,57E-03 m <sup>3</sup> |
|       | Landwirtschaftliche Fläche                    | 8,46E+01 m <sup>2</sup> |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert        | 3,67E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert      | 1,02E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel.         | 5,56E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Stoffe, diverse                               |                         |
|       | Abgas                                         | 9,12E-02 kg             |
|       | Gülle, Feststoff auf dem Feld                 | 2,81E+01 kg             |
|       | Lebendmassezuwachs                            | 5,80E+01 kg             |
|       | Wasser                                        |                         |
|       | Abwasser                                      |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung)                 | 5,21E+00 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                         | 1,04E+01 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                            | 1,21E-03 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                             | 3,29E+02 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                             | 1,59E-01 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus                          | 7,94E-02 kg             |
|       | Sickerwasser, gefaßt                          | 2,07E-06 kg             |
|       | Wasserdampf                                   | 2,28E+01 kg             |

Tabelle 3-14: Szenario PROBIOTIKA - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme)

| Input                                         |                         | Output                               |                         |
|-----------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Chemische Grundstoffe                         |                         | Abfälle                              |                         |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                     |                         | Abfälle zur Beseitigung              |                         |
| Natriumhydroxid                               | 2,91E-04 kg             | Abfälle aus Kalisalzgewinnung        | 4,53E+00 kg             |
| Schwefelsäure                                 | 1,16E-06 kg             | Abfälle aus REA                      | 1,40E-03 kg             |
| Chemikalien, org., unspez.                    | 9,88E-03 kg             | Abfälle, hausmüllähnlich             | 7,09E-04 kg             |
| Energieträger, primär                         |                         | Abfälle, unspezifiziert              | 2,82E-06 kg             |
| Energieträger, fossil                         |                         | Abraum                               | 1,09E+01 kg             |
| Erdöl                                         | 2,79E-01 kg             | Aschen u. Schlacken                  | 2,04E-03 kg             |
| Kohle                                         |                         | Klärschlamm                          | 1,04E-04 kg             |
| Braunkohle                                    | 4,32E-03 kg             | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 7,83E-12 m <sup>3</sup> |
| Steinkohle                                    | 1,95E-03 kg             | Sonderabfall                         | 3,21E-04 kg             |
| Energieträger, sekundär                       |                         | Abfälle zur Verwertung               |                         |
| Brennstoffe, gasförmig                        |                         | Aschen u. Schlacken                  |                         |
| Erdgas                                        | 5,84E-03 kg             | Filterstaub                          | 6,75E-03 kg             |
| Energie, elektrisch                           | 1,04E+04 kJ             | Gips (REA)                           | 2,73E-02 kg             |
| Energie, thermisch                            | 2,72E+04 kJ             | Grobasche                            | 1,01E-03 kg             |
| Feinchemikalien                               |                         | Natriumsulfat                        |                         |
| Dünger                                        |                         | Schmelzkammergranulat                | 8,46E-03 kg             |
| K-Dünger (als K <sub>2</sub> O)               | 9,88E-01 kg             | Wirbelschichtasche                   | 6,75E-04 kg             |
| N-Dünger (als N)                              | 1,65E+00 kg             | Abfälle, unspezifiziert              | 6,00E-03 kg             |
| P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 1,04E+00 kg             | Emissionen (Luft)                    |                         |
| Kumulierter Energieaufwand                    |                         | Abwärme (L)                          | 1,39E+04 kJ             |
| KEA (Kernenergie)                             | 1,35E+04 kJ             | Partikel (L)                         | 1,22E-03 kg             |
| KEA (Wasserkraft)                             | 1,76E+02 kJ             | Staub (>PM10) (L)                    | 7,79E-04 kg             |
| KEA, fossil gesamt                            | 1,47E+05 kJ             | Staub (L)                            | 1,95E-03 kg             |
| KEA, regenerativ                              | 2,90E+01 kJ             | Staub (PM10) (L)                     | 1,10E-03 kg             |
| KEA, sonst. regenerative                      | 3,64E+02 kJ             | Staub (PM2,5) (L)                    | 9,42E-04 kg             |
| KEA, sonstige                                 | 5,14E+01 kJ             | Verbindungen, anorg. (L)             |                         |
| KEA, unspez.                                  | 1,18E-06 kJ             | Ammoniak (L)                         | 2,62E-03 kg             |
| Mineralien und Erze                           |                         | Chlorwasserstoff (L)                 | 4,67E-04 kg             |
| Kalkstein                                     | 4,29E-05 kg             | Distickstoffmonoxid (L)              | 3,18E-02 kg             |
| Naturraum                                     |                         | Fluor (L)                            | 2,72E-10 kg             |
| Fläche K5 (BRD)                               | 8,47E+00 m <sup>2</sup> | Fluorwasserstoff (L)                 | 2,75E-05 kg             |
| Landwirtschaftliche Fläche                    | 8,46E+01 m <sup>2</sup> | Kohlendioxid (L)                     |                         |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL)               |                         | Kohlendioxid, fossil (L)             | 1,03E+01 kg             |
| Energieträger (RiL)                           |                         | Kohlenmonoxid (L)                    | 8,73E-03 kg             |
| Erdgas (RiL)                                  | 1,87E+00 kg             | Metalle (L)                          |                         |
| Erdöl (RiL)                                   | 8,06E-01 kg             | Antimon (L)                          | 3,68E-09 kg             |
| Kohlen (RiL)                                  |                         | Arsen (L)                            | 3,72E-08 kg             |
| Braunkohle (RiL)                              | 1,55E+00 kg             | Beryllium (L)                        | 4,40E-09 kg             |
| Steinkohle (RiL)                              | 5,42E-01 kg             | Blei (L)                             | 4,77E-08 kg             |
| Uran (RiL)                                    | 2,08E-05 kg             | Cadmium (L)                          | 1,95E-08 kg             |
| Nichtenergeträger (RiL)                       |                         | Chrom (L)                            | 2,06E-08 kg             |
| Mineralien und Erze (RiL)                     |                         | Kobalt (L)                           | 3,19E-09 kg             |

| Input                        |             | Output                        |             |
|------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Kalkstein (RiL)              | 4,20E-02 kg | Kupfer (L)                    | 1,64E-08 kg |
| Natriumchlorid (RiL)         | 2,24E-04 kg | Mangan (L)                    | 1,60E-08 kg |
| Rohphosphat (RiL)            | 3,24E+00 kg | Nickel (L)                    | 7,50E-07 kg |
| Sand (RiL)                   | 7,89E-04 kg | Quecksilber (L)               | 4,31E-08 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL)   |             | Selen (L)                     | 2,56E-07 kg |
| Schwefel (RiL)               | 4,77E-01 kg | Thallium (L)                  | 6,82E-10 kg |
| Sylvit, 25% in Syvinit (RiL) | 1,87E+00 kg | Uran (L)                      | 1,26E-08 kg |
| Wasser                       |             | Vanadium (L)                  | 3,53E-09 kg |
| Brauch-/Trinkwasser          |             | Zink (L)                      | 1,20E-07 kg |
| Kühlwasser                   | 6,98E+02 kg | Zinn (L)                      | 1,24E-08 kg |
| Wasser (Kesselspeise)        | 1,73E+02 kg | NOx (L)                       | 4,80E-02 kg |
| Wasser (Prozess)             | 3,00E-01 kg | Radionuklide (L)              |             |
| Wasser, un spez.             | 3,50E+00 kg | Radionuklide, gesamt (L)      | 1,27E+06 Bq |
|                              |             | Schwefel (L)                  | 1,91E-09 kg |
|                              |             | Schwefeldioxid (L)            | 2,66E-02 kg |
|                              |             | Schwefelwasserstoff (L)       | 2,39E-08 kg |
|                              |             | VOC (L)                       |             |
|                              |             | Methan (L)                    | 1,82E-02 kg |
|                              |             | NMVOC (L)                     |             |
|                              |             | NMVOC, halog. (L)             |             |
|                              |             | NMVOC, chlor. (L)             |             |
|                              |             | NMVOC, chlor, aromat. (L)     |             |
|                              |             | Chlorbenzole (L)              | 2,17E-16 kg |
|                              |             | Chlorphenole (L)              | 4,35E-16 kg |
|                              |             | PCB (L)                       | 2,17E-18 kg |
|                              |             | PCDD, PCDF (L)                | 2,69E-10 kg |
|                              |             | NMVOC, fluor. (L)             |             |
|                              |             | Perfluorethan (L)             | 1,00E-10 kg |
|                              |             | Perfluormethan (L)            | 1,94E-10 kg |
|                              |             | NMVOC, nichthalog. (L)        |             |
|                              |             | Aldehyde (L)                  |             |
|                              |             | Formaldehyd (L)               | 1,95E-04 kg |
|                              |             | Alkane (L)                    |             |
|                              |             | Hexan (L)                     | 3,45E-07 kg |
|                              |             | Aromatische Verbindungen (L)  |             |
|                              |             | aromatische KW (L)            |             |
|                              |             | Benzol (L)                    | 5,20E-05 kg |
|                              |             | PAK (L)                       |             |
|                              |             | Benzo(a)anthrazen (L)         | 5,10E-12 kg |
|                              |             | Benzo(a)pyren (L)             | 1,33E-08 kg |
|                              |             | PAK ohne B(a)P (L)            | 2,03E-08 kg |
|                              |             | NMVOC, un spez. (L)           | 3,04E-03 kg |
|                              |             | VOC, un spez. (L)             | 4,45E-08 kg |
|                              |             | Emissionen (Wasser)           |             |
|                              |             | Emissionen (W)                |             |
|                              |             | Abwärme (W)                   | 4,06E+03 kJ |
|                              |             | Verbindungen, anorganisch (W) |             |

| Input | Output                       |
|-------|------------------------------|
|       | Bor (W)                      |
|       | 2,38E-10 kg                  |
|       | Chlor (W)                    |
|       | 2,56E-06 kg                  |
|       | Chlorid (W)                  |
|       | 1,25E-01 kg                  |
|       | Cyanid (W)                   |
|       | 2,24E-10 kg                  |
|       | Fluor (W)                    |
|       | 2,38E-08 kg                  |
|       | Fluorid (W)                  |
|       | 3,87E-07 kg                  |
|       | Metalle (W)                  |
|       | Aluminium (W)                |
|       | 6,58E-08 kg                  |
|       | Antimon (W)                  |
|       | 2,94E-12 kg                  |
|       | Arsen (W)                    |
|       | 4,55E-06 kg                  |
|       | Barium (W)                   |
|       | 3,89E-08 kg                  |
|       | Beryllium (W)                |
|       | 5,13E-10 kg                  |
|       | Blei (W)                     |
|       | 2,05E-05 kg                  |
|       | Cadmium (W)                  |
|       | 4,55E-06 kg                  |
|       | Calcium (W)                  |
|       | 2,07E-03 kg                  |
|       | Chrom (W)                    |
|       | 2,28E-05 kg                  |
|       | Cobalt (W)                   |
|       | 1,23E-10 kg                  |
|       | Kalium (W)                   |
|       | 1,59E-03 kg                  |
|       | Kupfer (W)                   |
|       | 2,28E-05 kg                  |
|       | Magnesium (W)                |
|       | 1,20E-02 kg                  |
|       | Mangan (W)                   |
|       | 1,71E-06 kg                  |
|       | Molybdän (W)                 |
|       | 2,13E-07 kg                  |
|       | Natrium (W)                  |
|       | 7,27E-02 kg                  |
|       | Nickel (W)                   |
|       | 1,76E-05 kg                  |
|       | Quecksilber (W)              |
|       | 4,35E-06 kg                  |
|       | Selen (W)                    |
|       | 6,37E-08 kg                  |
|       | Uran (W)                     |
|       | 2,83E-07 kg                  |
|       | Vanadium (W)                 |
|       | 1,65E-07 kg                  |
|       | Zink (W)                     |
|       | 2,71E-05 kg                  |
|       | Zinn (W)                     |
|       | 1,25E-10 kg                  |
|       | Phosphat (W)                 |
|       | 5,52E-05 kg                  |
|       | Phosphorverbind. als P (W)   |
|       | 5,40E-09 kg                  |
|       | Radionuklide (W)             |
|       | Radionuklide, gesamt (W)     |
|       | 7,54E+03 kBq                 |
|       | Salze, anorg. (W)            |
|       | 3,68E-09 kg                  |
|       | Schwefel (W)                 |
|       | 1,24E-02 kg                  |
|       | Stickstoffverbindungen (W)   |
|       | Ammoniak (W)                 |
|       | 8,56E-07 kg                  |
|       | Ammonium (W)                 |
|       | 1,22E-03 kg                  |
|       | Nitrat (W)                   |
|       | 4,76E-07 kg                  |
|       | Salpetersäure (W)            |
|       | 4,00E-08 kg                  |
|       | Stickstoffverbind. als N (W) |
|       | 8,93E-08 kg                  |
|       | Sulfat (W)                   |
|       | 1,78E-03 kg                  |
|       | Sulfid (W)                   |
|       | 2,60E-09 kg                  |
|       | Verbindungen, organisch (W)  |
|       | halog. org. Verbindungen (W) |
|       | chlor. org. Verbindungen (W) |

| Input | Output                                                           |
|-------|------------------------------------------------------------------|
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)                                 |
|       | PCB (W) 2,88E-13 kg                                              |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)                                |
|       | KW (W)                                                           |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W) 2,70E-09 kg                      |
|       | Öl (W) 9,99E-14 kg                                               |
|       | PAK (W)                                                          |
|       | Benzo(a)pyren (W) 1,76E-14 kg                                    |
|       | PAK ohne B(a)P (W) 1,58E-14 kg                                   |
|       | Phenole (W) 3,29E-10 kg                                          |
|       | Indikatorparameter                                               |
|       | AOX (W) 4,06E-10 kg                                              |
|       | BSB-5 (W) 9,79E-08 kg                                            |
|       | CSB (W) 7,85E-07 kg                                              |
|       | TOC (W) 4,02E-06 kg                                              |
|       | Hilfsgrößen                                                      |
|       | Feldarbeiten Grünbrache 8,46E-03 E                               |
|       | Import Materials                                                 |
|       | Sondermüll 2,32E-05 kg                                           |
|       | Naturraum                                                        |
|       | Deponievolumen 1,26E-05 m <sup>3</sup>                           |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert 1,23E-08 m <sup>3</sup>   |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert 3,43E-09 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel. 1,87E-08 m <sup>3</sup>    |
|       | Wasser                                                           |
|       | Abwasser                                                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung) 1,73E+02 kg                        |
|       | Abwasser (Kühlwasser) 2,49E+02 kg                                |
|       | Abwasser (Prozess) 3,21E-02 kg                                   |
|       | Abwasser, geklärt 2,87E-03 kg                                    |
|       | Abwasser, unspez. 5,77E-03 kg                                    |
|       | Sickerwasser, diffus 3,41E-04 kg                                 |
|       | Sickerwasser, gefaßt 6,93E-05 kg                                 |
|       | Wasserdampf 4,37E+02 kg                                          |

Tabelle 3-15: Szenario SELTENE ERDEN - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme)

| Input                                          |             | Output                               |                          |
|------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Abfälle                                        |             | Abfälle                              |                          |
| Abfälle zur Verwertung                         |             | Abfälle zur Beseitigung              |                          |
| Metalle                                        |             | Abfälle aus chem. Industrie, inert   | 2,77E-06 kg              |
| Schrott (Eisen)                                | 8,88E-03 kg | Abfälle aus Rauchgasreinigung        | 6,89E-09 kg              |
| Schrott (NE)                                   | 3,39E-06 kg | Abfälle aus REA                      | 2,35E-02 kg              |
| Schrott, un spez.                              | 1,67E-03 kg | Abfälle zur Verbrennung              | 3,87E-08 kg              |
| Chemische Grundstoffe                          |             | Abfälle, hausmüllähnlich             | 1,17E-04 kg              |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                      |             | Abfälle, unspezifiziert              | 1,94E-02 kg              |
| Ammoniumhydroxid                               | 3,24E-03 kg | Abraum                               | 6,00E+00 kg              |
| Kaliumdihydrogenphosphat                       | 2,53E-05 kg | Aschen u. Schlacken                  | 1,21E-01 kg              |
| Natriumhydroxid                                | 5,05E-04 kg | Klärschlamm (30%TS)                  | 2,33E-01 kg              |
| Natriumsilikofluorid                           | 3,11E-05 kg | Klärschlamm                          | 5,47E-04 kg              |
| Phosphate (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 3,76E-08 kg | Kunststoffe, un spez.                | 2,41E-07 kg              |
| Sauerstoff                                     | 3,55E-06 kg | Metalle                              | 9,13E-08 kg              |
| Schwefelsäure                                  | 2,07E-05 kg | Papier, Pappe                        | 2,81E-31 kg              |
| Stickstoff                                     | 1,06E-05 kg | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 2,62E-10 m <sup>3</sup>  |
| Emissionen (Luft)                              |             | Schlämme                             | 1,52E-02 kg              |
| Verbindungen, anorg. (L)                       |             | Sonderabfall                         | 2,23E-05 kg              |
| Kohlendioxid (L)                               |             | Sondermüll                           | 3,16E-07 kg              |
| Kohlendioxid, regenerativ (L)                  | 8,20E-06 kg | Untertagedeponiegut                  | 4,15E-03 kg              |
| Energieträger, sekundär                        |             | Abfälle zur Verwertung               |                          |
| Brennstoffe, fest/flüssig                      |             | Abfälle, un spez.                    | 9,06E+00 kg              |
| Biomasse (kg)                                  | 3,55E+02 kg | Aschen u. Schlacken                  | 9,73E-01 kg              |
| Koks                                           | 4,86E-09 kg | Filterstaub                          | 2,77E-04 kg              |
| Koks (HOK)                                     | 7,71E-03 kg | Gestein                              | 3,69E-02 kg              |
| Schweröl                                       | 2,04E-03 kg | Gips (REA)                           | 1,98E-02 kg              |
| Feinchemikalien                                |             | Grobasche                            | 4,14E-05 kg              |
| Fällungsmittel                                 |             | Metalle                              |                          |
| Kumulierter Energieaufwand                     |             | Metalle, un spez.                    | 6,82E-07 kg              |
| KEA (Kernenergie)                              | 6,04E+03 kJ | Schrott (Eisen)                      | 1,03E-01 kg              |
| KEA (Wasserkraft)                              | 8,19E+02 kJ | Natriumsulfat                        | 9,08E-06 kg              |
| KEA solar                                      | 8,48E+02 MJ | Organik                              |                          |
| KEA, fossil gesamt                             | 3,10E+05 kJ | Klärschlamm, 20 % TS                 | 2,26E-04 kg              |
| KEA, regenerativ                               | 8,25E+01 kJ | Schmelzkammergranulat                | 3,47E-04 kg              |
| KEA, sonst. regenerative                       | 1,49E+01 kJ | Siebüberlauf                         | 4,50E-01 kg              |
| KEA, sonstige                                  | 5,89E+02 kJ | Wertstoffe, gemischt                 | 4,51E-07 kg              |
| KEA, un spez.                                  | 2,77E+01 kJ | Wirbelschichtasche                   | 2,77E-05 kg              |
| Metalle                                        |             | Abfälle, unspezifiziert              | 4,40E-05 kg              |
| NE-Metalle                                     |             | Emissionen (Luft)                    |                          |
| Chrom                                          | 3,78E-15 kg | Abgas (trocken Normvolumen) (L)      | 3,37E+01 Nm <sup>3</sup> |
| Mineralien und Erze                            |             | Abwärme (L)                          | 9,40E+02 kJ              |
| Calciumhydroxid                                | 5,69E-02 kg | Deponiegas, diffus (L)               | 8,82E-01 m <sup>3</sup>  |
| Kalkstein                                      | 3,09E-05 kg | Partikel (L)                         | 5,16E-03 kg              |
| Schwefel                                       | 1,31E-05 kg | Staub (>PM10) (L)                    | 1,13E-06 kg              |

| Input                           |                         | Output                          |             |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------|
| Naturraum                       |                         | Staub (L)                       | 1,10E-02 kg |
| Fläche K6 (BRD)                 | 8,36E+01 m <sup>2</sup> | Staub (PM10) (L)                | 2,63E-06 kg |
| Fläche K7 (BRD)                 | 3,76E-04 m <sup>2</sup> | Verbindungen, anorg. (L)        |             |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL) |                         | Ammoniak (L)                    | 3,62E-01 kg |
| Energieträger (RiL)             |                         | Chlor (L)                       | 5,52E-05 kg |
| Erdgas (RiL)                    | 3,59E+00 kg             | Chlorwasserstoff (L)            | 8,42E-04 kg |
| Erdöl (RiL)                     | 3,09E+00 kg             | Cyanwasserstoff (L)             | 1,36E-26 kg |
| Holz (RiL)                      | 6,18E-04 kg             | Distickstoffmonoxid (L)         | 1,57E-01 kg |
| Kohlen (RiL)                    |                         | Fluor (L)                       | 1,30E-11 kg |
| Braunkohle (RiL)                | 4,34E-01 kg             | Fluorwasserstoff (L)            | 7,85E-05 kg |
| Kohle, unspez. (RiL)            | 6,98E-04 kg             | Kohlendioxid (L)                |             |
| Steinkohle (RiL)                | 1,21E+00 kg             | Kohlendioxid, fossil (L)        | 1,34E+01 kg |
| Uran (RiL)                      | 8,51E-07 kg             | Kohlendioxid, regenerativ (L)   | 4,11E+00 kg |
| Nichtenergieträger (RiL)        |                         | Kohlendioxid, unspez. (L)       | 1,37E+01 kg |
| Erze, unspez. (RiL)             | 3,93E-02 kg             | Kohlenmonoxid (L)               | 1,65E-01 kg |
| Mineralien und Erze (RiL)       |                         | Metalle (L)                     |             |
| Baryt (RiL)                     | 5,17E-09 kg             | Antimon (L)                     | 1,70E-09 kg |
| Bauxit (RiL)                    | 6,72E-06 kg             | Arsen (L)                       | 7,77E-08 kg |
| Bentonit (RiL)                  | 1,17E-06 kg             | Beryllium (L)                   | 1,80E-10 kg |
| Calciumsulfat (RiL)             | 1,19E-07 kg             | Blei (L)                        | 3,21E-07 kg |
| Dolomit (RiL)                   | 5,77E-08 kg             | Cadmium (L)                     | 1,34E-07 kg |
| Eisenerz (RiL)                  | 6,20E-02 kg             | Chrom (L)                       | 9,32E-08 kg |
| Feldspat (RiL)                  | 7,29E-38 kg             | Kobalt (L)                      | 1,68E-09 kg |
| Flußspat (RiL)                  | 7,27E-09 kg             | Kupfer (L)                      | 7,87E-08 kg |
| Granit (RiL)                    | 1,36E-09 kg             | Mangan (L)                      | 1,22E-08 kg |
| Kaliumchlorid (RiL)             | 7,97E-09 kg             | Metalle, unspez. (L)            | 2,57E-07 kg |
| Kalkstein (RiL)                 | 8,91E-01 kg             | Nickel (L)                      | 4,10E-06 kg |
| Kies (RiL)                      | 1,47E-08 kg             | Quecksilber (L)                 | 6,98E-08 kg |
| Kreide (RiL)                    | 5,50E-32 kg             | Selen (L)                       | 1,05E-08 kg |
| Natriumchlorid (RiL)            | 7,41E-02 kg             | Thallium (L)                    | 7,84E-10 kg |
| Olivin (RiL)                    | 4,32E-08 kg             | Uran (L)                        | 5,17E-10 kg |
| Rohkali (RiL)                   | 3,50E+00 kg             | Vanadium (L)                    | 9,18E-10 kg |
| Rohphosphat (RiL)               | 1,80E+00 kg             | Zink (L)                        | 1,61E-06 kg |
| Rutil (RiL)                     | 7,90E-32 kg             | Zinn (L)                        | 5,11E-09 kg |
| Sand (RiL)                      | 5,26E-05 kg             | NOx (L)                         | 1,38E-01 kg |
| Schiefer (RiL)                  | 3,30E-07 kg             | Radionuklide (L)                |             |
| Ton (RiL)                       | 2,36E-07 kg             | Radionuklide, gesamt (L)        | 5,19E+04 Bq |
| Mineralien, unspez. (RiL)       | 1,01E+01 kg             | Schwefel (L)                    | 7,81E-11 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL)      |                         | Schwefeldioxid (L)              | 3,76E-02 kg |
| Metalle (RiL)                   |                         | Schwefelkohlenstoff (L)         | 2,50E-14 kg |
| Blei (Pb) (RiL)                 | 2,78E-09 kg             | Schwefelsäure (L)               | 1,27E-13 kg |
| Eisen (Fe) (RiL)                | 5,17E-05 kg             | Schwefelwasserstoff (L)         | 1,03E-04 kg |
| Ferromangan (RiL)               | 3,98E-10 kg             | Stickstoff (L)                  | 4,65E-04 kg |
| Nickel (Ni) (RiL)               | 6,61E-14 kg             | Wasserstoff (L)                 | 9,25E-06 kg |
| Zink (Zn) (RiL)                 | 1,05E-10 kg             | VOC (L)                         |             |
| Schwefel (RiL)                  | 1,23E-01 kg             | Kohlenwasserstoffe, unspez. (L) | 2,02E-04 kg |
| Stoffe, diverse                 |                         | Methan (L)                      | 1,05E+00 kg |

| Input                  |                         | Output                             |             |
|------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------|
| Betriebsstoffe         |                         | Methan, regenerativ (L)            | 6,13E-02 kg |
| Aktivkohle             | 3,36E-05 kg             | NMVOC (L)                          |             |
| C-Donator              | 5,68E-05 kg             | NMVOC (Kohlenwasserstoffe) (L)     | 2,75E-04 kg |
| Eisen(III)-chlorid     | 4,21E-05 kg             | NMVOC aus Dieselemiss. (L)         | 6,73E-03 kg |
| Kalkmilch              | 3,36E-04 kg             | NMVOC, arom., unspez. (L)          | 7,25E-08 kg |
| Natronlauge            | 1,21E-04 kg             | NMVOC, halog. (L)                  |             |
| P-Donator              | 2,43E-06 kg             | NMVOC, chlor. (L)                  |             |
| Reinigungschemikalien  | 1,64E-04 kg             | NMVOC, chlor, aliph. (L)           |             |
| Calciumchlorid         | 6,34E-06 kg             | Dichlorethen (L)                   | 1,33E-14 kg |
| Fläche, unspezifiziert | 8,42E+01 m <sup>2</sup> | Vinylchlorid (L)                   | 8,87E-15 kg |
| Hilfsstoffe            |                         | NMVOC, chlor, arom. (L)            |             |
| Hilfsstoffe, unspez.   | 9,93E-04 kg             | Chlorbenzol (L)                    | 7,71E-10 kg |
| Luft                   | 1,61E-03 kg             | Chlorphenol (L)                    | 1,54E-09 kg |
| Magnesiumsulfat        | 2,03E-05 kg             | PCB (L)                            | 6,56E-10 kg |
| Salze (Nährmittel)     | 1,27E-04 kg             | PCDD, PCDF (L)                     | 2,48E-12 kg |
| Sekundärrohstoffe      | 1,85E-01 kg             | NMVOC, chlor., unspez. (L)         | 1,85E-10 kg |
| Tallöl                 | 2,16E-05 kg             | NMVOC, fluor. (L)                  |             |
| Wasser                 |                         | NMVOC, fluor., unspez. (L)         | 1,95E-10 kg |
| Brauch-/Trinkwasser    |                         | Perfluorethen (L)                  | 4,70E-09 kg |
| Kühlwasser             | 3,14E+01 kg             | Perfluormethan (L)                 | 9,24E-09 kg |
| Trinkwasser            | 1,14E-01 kg             | NMVOC, nichthalog. (L)             |             |
| Wasser (Kesselspeise)  | 7,14E+00 kg             | Aldehyde (L)                       |             |
| Wasser (Prozess)       | 7,12E-01 kg             | Aldehyde, unspez. (L)              | 3,34E-10 kg |
| Wasser, unspez.        | 4,88E+02 kg             | Formaldehyd (L)                    | 1,00E-03 kg |
| Rohwasser              |                         | Alkane (L)                         |             |
| Grundwasser            | 9,30E-02 kg             | Hexan (L)                          | 1,41E-08 kg |
|                        |                         | andere S (und O)-haltige Verb. (L) |             |
|                        |                         | Mercaptane (L)                     | 7,84E-12 kg |
|                        |                         | Aromatische Verbindungen (L)       |             |
|                        |                         | aromatische KW (L)                 |             |
|                        |                         | Benzol (L)                         | 2,48E-04 kg |
|                        |                         | Biphenyl (L)                       | 9,72E-17 kg |
|                        |                         | PAK (L)                            |             |
|                        |                         | Acenaphthylen (L)                  | 9,72E-16 kg |
|                        |                         | Benzo(a)pyren (L)                  | 8,95E-09 kg |
|                        |                         | Dibenzo(a)pyren (L)                | 4,86E-17 kg |
|                        |                         | Fluoren (L)                        | 9,72E-17 kg |
|                        |                         | Naphtalin (L)                      | 4,86E-15 kg |
|                        |                         | PAK ohne B(a)P (L)                 | 6,16E-06 kg |
|                        |                         | PAK, unspez. (L)                   | 1,83E-09 kg |
|                        |                         | Phenanthren (L)                    | 9,72E-17 kg |
|                        |                         | NMVOC, unspez. (L)                 | 6,74E-03 kg |
|                        |                         | Stoffe, org., unspez. (L)          | 1,01E-08 kg |
|                        |                         | TOC (L)                            | 8,94E-03 kg |
|                        |                         | VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)       | 5,86E-04 kg |
|                        |                         | VOC, unspez. (L)                   | 2,56E-04 kg |
|                        |                         | Emissionen (Wasser)                |             |

| Input | Output                                                         |
|-------|----------------------------------------------------------------|
|       | Emissionen (W)                                                 |
|       | Abwärme (W) 1,62E+02 kJ                                        |
|       | Feststoffe, gelöst (W) 6,95E-06 kg                             |
|       | Feststoffe, suspendiert (W) 8,55E-04 kg                        |
|       | Feststoffe, ungelöst (W) 3,09E-06 kg                           |
|       | Verbindungen, anorganisch (W)                                  |
|       | Bor (W) 9,75E-12 kg                                            |
|       | Carbonat (W) 1,45E-06 kg                                       |
|       | Chlor (W) 1,05E-07 kg                                          |
|       | Chlor, gelöst (W) 1,27E-12 kg                                  |
|       | Chlorid (W) 3,09E-03 kg                                        |
|       | Cyanid (W) 1,86E-11 kg                                         |
|       | Fluor (W) 9,76E-10 kg                                          |
|       | Fluorid (W) 1,59E-08 kg                                        |
|       | Metalle (W)                                                    |
|       | Aluminium (W) 4,69E-09 kg                                      |
|       | Antimon (W) 1,20E-13 kg                                        |
|       | Arsen (W) 2,15E-08 kg                                          |
|       | Barium (W) 1,60E-09 kg                                         |
|       | Beryllium (W) 2,10E-11 kg                                      |
|       | Blei (W) 1,66E-07 kg                                           |
|       | Cadmium (W) 3,55E-08 kg                                        |
|       | Calcium (W) 1,40E-02 kg                                        |
|       | Chrom (W) 4,37E-07 kg                                          |
|       | Chrom-(VI)-oxid (W) (W) 4,55E-15 kg                            |
|       | Cobalt (W) 5,06E-12 kg                                         |
|       | Eisen (W) 1,75E-08 kg                                          |
|       | Kalium (W) 2,33E-10 kg                                         |
|       | Kaliumverbind. als K (W) 2,82E-02 kg                           |
|       | Kupfer (W) 3,25E-06 kg                                         |
|       | Magnesium (W) 5,34E-09 kg                                      |
|       | Magnesiumverbind. als Mg (W) 4,87E-03 kg                       |
|       | Mangan (W) 7,03E-08 kg                                         |
|       | Metalle, unspez. (W) 8,80E-06 kg                               |
|       | Molybdän (W) 8,74E-09 kg                                       |
|       | Natrium (W) 3,30E-04 kg                                        |
|       | Nickel (W) 3,51E-07 kg                                         |
|       | Quecksilber (W) 6,60E-09 kg                                    |
|       | Selen (W) 2,61E-09 kg                                          |
|       | Uran (W) 1,16E-08 kg                                           |
|       | Vanadium (W) 6,75E-09 kg                                       |
|       | Zink (W) 8,08E-06 kg                                           |
|       | Zinn (W) 5,13E-12 kg                                           |
|       | Phosphate (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (W) 2,02E-08 kg |
|       | Phosphorverbind. als P (W) 7,11E-05 kg                         |
|       | Radionuklide (W)                                               |
|       | Radionuklide, gesamt (W) 3,09E+02 kBq                          |

| Input | Output                                              |
|-------|-----------------------------------------------------|
|       | Salze, anorg. (W) 1,57E-01 kg                       |
|       | Säuren als H(+) (W) 2,74E-05 kg                     |
|       | Schwefel (W) 1,01E-09 kg                            |
|       | Stickstoffverbindungen (W)                          |
|       | Ammoniak (W) 3,51E-08 kg                            |
|       | Ammonium (W) 1,42E-03 kg                            |
|       | Nitrat (W) 1,57E-02 kg                              |
|       | Nitrat als N (W) 1,08E-07 kg                        |
|       | Salpetersäure (W) 1,64E-09 kg                       |
|       | Stickstoffverb., unspez. (W) 4,10E-08 kg            |
|       | Stickstoffverbind. als N (W) 1,16E-04 kg            |
|       | Sulfat (W) 5,37E-04 kg                              |
|       | Sulfid (W) 1,07E-10 kg                              |
|       | Verbindungen, organisch (W)                         |
|       | Detergenzien, Öl (W) 9,48E-09 kg                    |
|       | halog. org. Verbindungen (W)                        |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)                        |
|       | chlor. Verbindungen, aliphat. (W)                   |
|       | Vinylchlorid (W) 1,03E-34 kg                        |
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)                    |
|       | PCB (W) 1,14E-11 kg                                 |
|       | Verbindungen, org., chlor., unspez. (W) 1,80E-12 kg |
|       | Kohlenstoff, organisch (W) 2,65E-03 kg              |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)                   |
|       | KW (W)                                              |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W) 7,18E-07 kg         |
|       | Öl (W) 4,09E-15 kg                                  |
|       | Öl, Detergenzien (W) 1,43E-06 kg                    |
|       | PAK (W)                                             |
|       | Benzo(a)pyren (W) 7,22E-16 kg                       |
|       | PAK ohne B(a)P (W) 2,43E-11 kg                      |
|       | Phenole (W) 5,77E-08 kg                             |
|       | Verbindungen, org., gelöst (W) 4,08E-07 kg          |
|       | Verbindungen, org., unspez. (W) 6,55E-08 kg         |
|       | Indikatorparameter                                  |
|       | AOX (W) 2,07E-07 kg                                 |
|       | BSB-5 (W) 1,36E-03 kg                               |
|       | CSB (W) 8,86E-03 kg                                 |
|       | TOC (W) 1,65E-07 kg                                 |
|       | Sickerwasser, diffus (W) 4,26E+02 kg                |
|       | Energieträger, sekundär                             |
|       | Energie, elektrisch 1,02E+04 kJ                     |
|       | Energie, thermisch 2,66E+04 kJ                      |
|       | Feinchemikalien                                     |
|       | Dünger                                              |
|       | K-Dünger (als K <sub>2</sub> O) 9,52E-01 kg         |
|       | N-Dünger (als N) 1,59E+00 kg                        |

| Input | Output                                   |                         |
|-------|------------------------------------------|-------------------------|
|       | P-Dünger (als $P_2O_5$ )                 | 9,97E-01 kg             |
|       | Mineralien                               |                         |
|       | Gips (REA)                               | 1,37E-04 kg             |
|       | Naturraum                                |                         |
|       | Deponievolumen                           | 7,53E-03 m <sup>3</sup> |
|       | Landwirtschaftliche Fläche               | 8,36E+01 m <sup>2</sup> |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert   | 5,04E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert | 1,41E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel.    | 7,65E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Stoffe, diverse                          |                         |
|       | Abgas                                    | 9,72E-06 kg             |
|       | Abgas (m <sup>3</sup> )                  | 5,64E-03 m <sup>3</sup> |
|       | Gülle, Feststoff auf dem Feld            | 2,71E+01 kg             |
|       | Lebendmassezuwachs                       | 5,80E+01 kg             |
|       | Wasser                                   |                         |
|       | Abwasser                                 |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung)            | 7,14E+00 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                    | 1,32E+01 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                       | 1,91E-02 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                        | 3,26E+02 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                        | 3,30E-01 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus                     | 7,65E-02 kg             |
|       | Sickerwasser, gefaßt                     | 2,84E-06 kg             |
|       | Wasserdampf                              | 2,74E+01 kg             |

Tabelle 3-16: Szenario SELTENE ERDEN - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme)

| Input                                         |                         | Output                               |                         |
|-----------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Chemische Grundstoffe                         |                         | Abfälle                              |                         |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                     |                         | Abfälle zur Beseitigung              |                         |
| Natriumhydroxid                               | 2,80E-04 kg             | Abfälle aus Kalisalzgewinnung        | 4,36E+00 kg             |
| Schwefelsäure                                 | 1,12E-06 kg             | Abfälle aus REA                      | 1,36E-03 kg             |
| Chemikalien, org., unspez.                    | 9,52E-03 kg             | Abfälle, hausmüllähnlich             | 6,82E-04 kg             |
| Energieträger, primär                         |                         | Abfälle, unspezifiziert              | 2,71E-06 kg             |
| Energieträger, fossil                         |                         | Abraum                               | 1,06E+01 kg             |
| Erdöl                                         | 2,76E-01 kg             | Aschen u. Schlacken                  | 1,97E-03 kg             |
| Kohle                                         |                         | Klärschlamm                          | 1,01E-04 kg             |
| Braunkohle                                    | 4,26E-03 kg             | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 7,60E-12 m <sup>3</sup> |
| Steinkohle                                    | 1,92E-03 kg             | Sonderabfall                         | 3,09E-04 kg             |
| Energieträger, sekundär                       |                         | Abfälle zur Verwertung               |                         |
| Brennstoffe, gasförmig                        |                         | Aschen u. Schlacken                  | 1,87E-02 kg             |
| Erdgas                                        | 5,77E-03 kg             | Filterstaub                          | 6,57E-03 kg             |
| Energie, elektrisch                           | 1,02E+04 kJ             | Gips (REA)                           | 2,65E-02 kg             |
| Energie, thermisch                            | 2,64E+04 kJ             | Grobasche                            | 9,82E-04 kg             |
| Feinchemikalien                               |                         | Natriumsulfat                        | 2,16E-04 kg             |
| Dünger                                        |                         | Schmelzkammergranulat                | 8,24E-03 kg             |
| K-Dünger (als K <sub>2</sub> O)               | 9,52E-01 kg             | Wirbelschichtasche                   | 6,57E-04 kg             |
| N-Dünger (als N)                              | 1,59E+00 kg             | Abfälle, unspezifiziert              | 5,82E-03 kg             |
| P-Dünger (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 9,97E-01 kg             | Emissionen (Luft)                    |                         |
| Kumulierter Energieaufwand (KEA)              |                         | Abwärme (L)                          | 1,36E+04 kJ             |
| KEA (Kernenergie)                             | 1,31E+04 kJ             | Partikel (L)                         | 1,19E-03 kg             |
| KEA (Wasserkraft)                             | 1,70E+02 kJ             | Staub (>PM10) (L)                    | 7,51E-04 kg             |
| KEA, fossil gesamt                            | 1,42E+05 kJ             | Staub (L)                            | 1,88E-03 kg             |
| KEA, regenerativ                              | 2,81E+01 kJ             | Staub (PM10) (L)                     | 1,06E-03 kg             |
| KEA, sonst. regenerative                      | 3,54E+02 kJ             | Staub (PM2,5) (L)                    | 9,07E-04 kg             |
| KEA, sonstige                                 | 5,00E+01 kJ             | Verbindungen, anorg. (L)             |                         |
| KEA, unspez.                                  | 1,15E-06 kJ             | Ammoniak (L)                         | 2,52E-03 kg             |
| Mineralien und Erze                           |                         | Chlorwasserstoff (L)                 | 4,53E-04 kg             |
| Kalkstein                                     | 4,14E-05 kg             | Distickstoffmonoxid (L)              | 3,06E-02 kg             |
| Naturraum                                     |                         | Fluor (L)                            | 2,65E-10 kg             |
| Fläche K5 (BRD)                               | 8,37E+00 m <sup>2</sup> | Fluorwasserstoff (L)                 | 2,68E-05 kg             |
| Landwirtschaftliche Fläche                    | 8,36E+01 m <sup>2</sup> | Kohlendioxid (L)                     |                         |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL)               |                         | Kohlendioxid, fossil (L)             | 9,94E+00 kg             |
| Energieträger (RiL)                           |                         | Kohlenmonoxid (L)                    | 8,47E-03 kg             |
| Erdgas (RiL)                                  | 1,80E+00 kg             | Metalle (L)                          |                         |
| Erdöl (RiL)                                   | 7,77E-01 kg             | Antimon (L)                          | 3,58E-09 kg             |
| Kohlen (RiL)                                  |                         | Arsen (L)                            | 3,62E-08 kg             |
| Braunkohle (RiL)                              | 1,51E+00 kg             | Beryllium (L)                        | 4,28E-09 kg             |
| Steinkohle (RiL)                              | 5,26E-01 kg             | Blei (L)                             | 4,64E-08 kg             |
| Uran (RiL)                                    | 2,02E-05 kg             | Cadmium (L)                          | 1,88E-08 kg             |
| Nichtenergeträger (RiL)                       |                         | Chrom (L)                            | 2,00E-08 kg             |
| Mineralien und Erze (RiL)                     |                         | Kobalt (L)                           | 3,10E-09 kg             |

| Input                        |             | Output                        |             |
|------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Kalkstein (RiL)              | 4,09E-02 kg | Kupfer (L)                    | 1,60E-08 kg |
| Natriumchlorid (RiL)         | 2,18E-04 kg | Mangan (L)                    | 1,56E-08 kg |
| Rohphosphat (RiL)            | 3,12E+00 kg | Nickel (L)                    | 7,25E-07 kg |
| Sand (RiL)                   | 7,68E-04 kg | Quecksilber (L)               | 4,20E-08 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL)   |             | Selen (L)                     | 2,50E-07 kg |
| Schwefel (RiL)               | 4,59E-01 kg | Thallium (L)                  | 6,64E-10 kg |
| Sylvit, 25% in Syvinit (RiL) | 1,80E+00 kg | Uran (L)                      | 1,23E-08 kg |
| Wasser                       |             | Vanadium (L)                  | 3,44E-09 kg |
| Brauch-/Trinkwasser          |             | Zink (L)                      | 1,17E-07 kg |
| Kühlwasser                   | 6,79E+02 kg | Zinn (L)                      | 1,20E-08 kg |
| Wasser (Kesselspeise)        | 1,68E+02 kg | NOx (L)                       | 4,65E-02 kg |
| Wasser (Prozess)             | 2,92E-01 kg | Radionuklide (L)              |             |
| Wasser, un spez.             | 3,37E+00 kg | Radionuklide, gesamt (L)      | 1,23E+06 Bq |
|                              |             | Schwefel (L)                  | 1,85E-09 kg |
|                              |             | Schwefeldioxid (L)            | 2,57E-02 kg |
|                              |             | Schwefelwasserstoff (L)       | 2,33E-08 kg |
|                              |             | VOC (L)                       |             |
|                              |             | Methan (L)                    | 1,76E-02 kg |
|                              |             | NMVOC (L)                     |             |
|                              |             | NMVOC, halog. (L)             |             |
|                              |             | NMVOC, chlor. (L)             |             |
|                              |             | NMVOC, chlor, aromat. (L)     |             |
|                              |             | Chlorbenzole (L)              | 2,12E-16 kg |
|                              |             | Chlorphenole (L)              | 4,23E-16 kg |
|                              |             | PCB (L)                       | 2,12E-18 kg |
|                              |             | PCDD, PCDF (L)                | 2,59E-10 kg |
|                              |             | NMVOC, fluor. (L)             |             |
|                              |             | Perfluorethan (L)             | 9,77E-11 kg |
|                              |             | Perfluormethan (L)            | 1,88E-10 kg |
|                              |             | NMVOC, nichthalog. (L)        |             |
|                              |             | Aldehyde (L)                  |             |
|                              |             | Formaldehyd (L)               | 1,91E-04 kg |
|                              |             | Alkane (L)                    |             |
|                              |             | Hexan (L)                     | 3,35E-07 kg |
|                              |             | Aromatische Verbindungen (L)  |             |
|                              |             | aromatische KW (L)            |             |
|                              |             | Benzol (L)                    | 5,06E-05 kg |
|                              |             | PAK (L)                       |             |
|                              |             | Benzo(a)anthrazen (L)         | 4,95E-12 kg |
|                              |             | Benzo(a)pyren (L)             | 1,29E-08 kg |
|                              |             | PAK ohne B(a)P (L)            | 1,98E-08 kg |
|                              |             | NMVOC, un spez. (L)           | 2,96E-03 kg |
|                              |             | VOC, un spez. (L)             | 4,32E-08 kg |
|                              |             | Emissionen (Wasser)           |             |
|                              |             | Emissionen (W)                |             |
|                              |             | Abwärme (W)                   | 3,95E+03 kJ |
|                              |             | Verbindungen, anorganisch (W) |             |

| Input | Output                       |              |
|-------|------------------------------|--------------|
|       | Bor (W)                      | 2,31E-10 kg  |
|       | Chlor (W)                    | 2,50E-06 kg  |
|       | Chlorid (W)                  | 1,20E-01 kg  |
|       | Cyanid (W)                   | 2,18E-10 kg  |
|       | Fluor (W)                    | 2,32E-08 kg  |
|       | Fluorid (W)                  | 3,76E-07 kg  |
|       | Metalle (W)                  |              |
|       | Aluminium (W)                | 6,41E-08 kg  |
|       | Antimon (W)                  | 2,86E-12 kg  |
|       | Arsen (W)                    | 4,38E-06 kg  |
|       | Barium (W)                   | 3,79E-08 kg  |
|       | Beryllium (W)                | 4,99E-10 kg  |
|       | Blei (W)                     | 1,98E-05 kg  |
|       | Cadmium (W)                  | 4,38E-06 kg  |
|       | Calcium (W)                  | 1,99E-03 kg  |
|       | Chrom (W)                    | 2,20E-05 kg  |
|       | Cobalt (W)                   | 1,20E-10 kg  |
|       | Kalium (W)                   | 1,53E-03 kg  |
|       | Kupfer (W)                   | 2,19E-05 kg  |
|       | Magnesium (W)                | 1,15E-02 kg  |
|       | Mangan (W)                   | 1,67E-06 kg  |
|       | Molybdän (W)                 | 2,08E-07 kg  |
|       | Natrium (W)                  | 7,00E-02 kg  |
|       | Nickel (W)                   | 1,70E-05 kg  |
|       | Quecksilber (W)              | 4,19E-06 kg  |
|       | Selen (W)                    | 6,20E-08 kg  |
|       | Uran (W)                     | 2,75E-07 kg  |
|       | Vanadium (W)                 | 1,60E-07 kg  |
|       | Zink (W)                     | 2,61E-05 kg  |
|       | Zinn (W)                     | 1,22E-10 kg  |
|       | Phosphat (W)                 | 5,31E-05 kg  |
|       | Phosphorverbind. als P (W)   | 5,25E-09 kg  |
|       | Radionuklide (W)             |              |
|       | Radionuklide, gesamt (W)     | 7,34E+03 kBq |
|       | Salze, anorg. (W)            | 3,57E-09 kg  |
|       | Schwefel (W)                 | 1,19E-02 kg  |
|       | Stickstoffverbindungen (W)   |              |
|       | Ammoniak (W)                 | 8,33E-07 kg  |
|       | Ammonium (W)                 | 1,17E-03 kg  |
|       | Nitrat (W)                   | 4,63E-07 kg  |
|       | Salpetersäure (W)            | 3,90E-08 kg  |
|       | Stickstoffverbind. als N (W) | 8,70E-08 kg  |
|       | Sulfat (W)                   | 1,73E-03 kg  |
|       | Sulfid (W)                   | 2,53E-09 kg  |
|       | Verbindungen, organisch (W)  |              |
|       | halog. org. Verbindungen (W) |              |
|       | chlor. org. Verbindungen (W) |              |

| Input | Output                                   |                         |
|-------|------------------------------------------|-------------------------|
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)         |                         |
|       | PCB (W)                                  | 2,80E-13 kg             |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)        |                         |
|       | KW (W)                                   |                         |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W)          | 2,63E-09 kg             |
|       | Öl (W)                                   | 9,72E-14 kg             |
|       | PAK (W)                                  |                         |
|       | Benzo(a)pyren (W)                        | 1,72E-14 kg             |
|       | PAK ohne B(a)P (W)                       | 1,54E-14 kg             |
|       | Phenole (W)                              | 3,20E-10 kg             |
|       | Indikatorparameter                       |                         |
|       | AOX (W)                                  | 3,95E-10 kg             |
|       | BSB-5 (W)                                | 9,53E-08 kg             |
|       | CSB (W)                                  | 7,64E-07 kg             |
|       | TOC (W)                                  | 3,91E-06 kg             |
|       | Hilfsgrößen                              |                         |
|       | Feldarbeiten Grünbrache                  | 8,36E-03 E              |
|       | Import Materials                         |                         |
|       | Sondermüll                               | 2,26E-05 kg             |
|       | Naturraum                                |                         |
|       | Deponievolumen                           | 1,22E-05 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert   | 1,20E-08 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert | 3,34E-09 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel.    | 1,82E-08 m <sup>3</sup> |
|       | Wasser                                   |                         |
|       | Abwasser                                 |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung)            | 1,68E+02 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                    | 2,42E+02 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                       | 3,13E-02 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                        | 2,80E-03 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                        | 5,61E-03 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus                     | 3,32E-04 kg             |
|       | Sickerwasser, gefaßt                     | 6,74E-05 kg             |
|       | Wasserdampf                              | 4,26E+02 kg             |





|                                           | Einheit            | OHNE ZUSATZ |            |          | PROBIOTIKA |           |          | SELTENE ERDEN |            |          |
|-------------------------------------------|--------------------|-------------|------------|----------|------------|-----------|----------|---------------|------------|----------|
|                                           |                    | Brutto      | Gutschrift | Brutto   | Gutschrift | Netto     | Netto    | Brutto        | Gutschrift | Netto    |
| R 410A                                    | kg CO <sub>2</sub> | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| R 417a (Isceon 59)                        | kg CO <sub>2</sub> | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Tetrachlorkohlenstoff                     | kg CO <sub>2</sub> | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Trichlorethan                             | kg CO <sub>2</sub> | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Treibhauspotential (GWP 100)              | kg CO <sub>2</sub> | 1,05E+02    | -2,14E+01  | 8,37E+01 | 1,00E+02   | -2,06E+01 | 7,99E+01 | 9,88E+01      | -1,99E+01  | 7,90E+01 |
| <b>Versauerung</b>                        |                    |             |            |          |            |           |          |               |            |          |
| Klassifizierung                           |                    |             |            |          |            |           |          |               |            |          |
| Chlorwasserstoff (L)                      | kg                 | 8,71E-04    | -4,86E-04  | 3,85E-04 | 8,31E-04   | -4,66E-04 | 3,65E-04 | 8,42E-04      | -4,53E-04  | 3,89E-04 |
| Fluorwasserstoff (L)                      | kg                 | 8,26E-05    | -2,86E-05  | 5,40E-05 | 7,90E-05   | -2,75E-05 | 5,15E-05 | 7,85E-05      | -2,67E-05  | 5,18E-05 |
| Schwefeloxide (als SO <sub>2</sub> ) (L)  | kg                 | 3,86E-02    | -2,77E-02  | 1,09E-02 | 3,68E-02   | -2,67E-02 | 1,02E-02 | 3,76E-02      | -2,57E-02  | 1,19E-02 |
| Schwefelwasserstoff (L)                   | kg                 | 1,08E-04    | -2,49E-08  | 1,08E-04 | 1,04E-04   | -2,39E-08 | 1,03E-04 | 1,03E-04      | -2,33E-08  | 1,03E-04 |
| Stickoxide (NOx als NO <sub>2</sub> ) (L) | kg                 | 1,45E-01    | -4,93E-02  | 9,62E-02 | 1,39E-01   | -4,74E-02 | 9,16E-02 | 1,38E-01      | -4,59E-02  | 9,17E-02 |
| TRS (L)                                   | kg                 | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Ammoniak (L)                              | kg                 | 3,89E-01    | -2,72E-03  | 3,86E-01 | 3,74E-01   | -2,62E-03 | 3,71E-01 | 3,62E-01      | -2,52E-03  | 3,59E-01 |
| Charakterisierung                         |                    |             |            |          |            |           |          |               |            |          |
| Chlorwasserstoff                          | kg SO <sub>2</sub> | 7,66E-04    | -4,27E-04  | 3,39E-04 | 7,31E-04   | -4,10E-04 | 3,21E-04 | 7,41E-04      | -3,99E-04  | 3,42E-04 |
| Fluorwasserstoff                          | kg SO <sub>2</sub> | 1,32E-04    | -4,58E-05  | 8,64E-05 | 1,26E-04   | -4,39E-05 | 8,24E-05 | 1,26E-04      | -4,27E-05  | 8,29E-05 |
| Schwefeloxide (als SO <sub>2</sub> )      | kg SO <sub>2</sub> | 3,86E-02    | -2,77E-02  | 1,09E-02 | 3,68E-02   | -2,67E-02 | 1,02E-02 | 3,76E-02      | -2,57E-02  | 1,19E-02 |
| Schwefelwasserstoff                       | kg SO <sub>2</sub> | 2,04E-04    | -4,69E-08  | 2,04E-04 | 1,95E-04   | -4,50E-08 | 1,95E-04 | 1,94E-04      | -4,37E-08  | 1,94E-04 |
| Stickoxide (als NO <sub>2</sub> )         | kg SO <sub>2</sub> | 1,02E-01    | -3,45E-02  | 6,73E-02 | 9,73E-02   | -3,32E-02 | 6,41E-02 | 9,63E-02      | -3,21E-02  | 6,42E-02 |
| TRS                                       | kg SO <sub>2</sub> | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Ammoniak                                  | kg SO <sub>2</sub> | 7,31E-01    | -5,10E-03  | 7,25E-01 | 7,02E-01   | -4,92E-03 | 6,98E-01 | 6,80E-01      | -4,74E-03  | 6,76E-01 |
| Versauerungspotential                     | kg SO <sub>2</sub> | 8,72E-01    | -6,78E-02  | 8,04E-01 | 8,38E-01   | -6,52E-02 | 7,72E-01 | 8,15E-01      | -6,31E-02  | 7,52E-01 |
| <b>Eutrophierung</b>                      |                    |             |            |          |            |           |          |               |            |          |
| Klassifizierung                           |                    |             |            |          |            |           |          |               |            |          |
| Ammoniak (L)                              | kg                 | 3,89E-01    | -2,72E-03  | 3,86E-01 | 3,74E-01   | -2,62E-03 | 3,71E-01 | 3,62E-01      | -2,52E-03  | 3,59E-01 |
| Stickoxide (NOx als NO <sub>2</sub> ) (L) | kg                 | 1,45E-01    | -4,93E-02  | 9,62E-02 | 1,39E-01   | -4,74E-02 | 9,16E-02 | 1,38E-01      | -4,59E-02  | 9,17E-02 |
| CSB (W)                                   | kg                 | 9,51E-03    | -8,19E-07  | 9,50E-03 | 9,16E-03   | -7,85E-07 | 9,15E-03 | 8,86E-03      | -7,64E-07  | 8,86E-03 |



|                                 | Einheit  | OHNE ZUSATZ |            |          | PROBIOTIKA |           |          | SELTENE ERDEN |            |          |
|---------------------------------|----------|-------------|------------|----------|------------|-----------|----------|---------------|------------|----------|
|                                 |          | Brutto      | Gutschrift | Brutto   | Gutschrift | Netto     | Netto    | Brutto        | Gutschrift | Netto    |
| Ethoxipropanol (L)              | kg       | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Ethylacetat (L)                 | kg       | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Ethylen (L)                     | kg       | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Formaldehyd (L)                 | kg       | 1,07E-03    | -2,07E-04  | 8,62E-04 | 1,03E-03   | -1,98E-04 | 8,27E-04 | 1,00E-03      | -1,93E-04  | 8,07E-04 |
| Methan (L)                      | kg       | 1,19E+00    | -1,89E-02  | 1,17E+00 | 1,14E+00   | -1,82E-02 | 1,12E+00 | 1,11E+00      | -1,76E-02  | 1,09E+00 |
| Propan (L)                      | kg       | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| NM VOC aus Dieselemiss. (L)     | kg       | 7,25E-03    | -          | 7,25E-03 | 6,99E-03   | -         | 6,99E-03 | 6,73E-03      | -          | 6,73E-03 |
| NM VOC unspez. (L)              | kg       | 7,14E-03    | -3,10E-03  | 4,04E-03 | 6,81E-03   | -2,97E-03 | 3,84E-03 | 6,74E-03      | -2,89E-03  | 3,85E-03 |
| VOC unspez. (L)                 | kg       | 2,68E-04    | -4,63E-08  | 2,68E-04 | 2,58E-04   | -4,45E-08 | 2,58E-04 | 2,56E-04      | -4,32E-08  | 2,56E-04 |
| NM VOC (Kohlenwasserstoffe) (L) | kg       | 2,96E-04    | -          | 2,96E-04 | 2,85E-04   | -         | 2,85E-04 | 2,75E-04      | -          | 2,75E-04 |
| VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)    | kg       | 3,82E-04    | -          | 3,82E-04 | 3,72E-04   | -         | 3,72E-04 | 7,88E-04      | -          | 7,88E-04 |
| Charakterisierung               |          |             |            |          |            |           |          |               |            |          |
| Acetylen                        | kg Ethen | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Benzol                          | kg Ethen | 5,01E-05    | -1,04E-05  | 3,97E-05 | 4,81E-05   | -9,96E-06 | 3,81E-05 | 4,69E-05      | -9,70E-06  | 3,72E-05 |
| Ethanol                         | kg Ethen | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Ethoxipropanol                  | kg Ethen | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Ethylacetat                     | kg Ethen | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Ethylen                         | kg Ethen | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| Formaldehyd                     | kg Ethen | 4,50E-04    | -8,69E-05  | 3,63E-04 | 4,32E-04   | -8,33E-05 | 3,48E-04 | 4,21E-04      | -8,12E-05  | 3,40E-04 |
| Methan                          | kg Ethen | 8,30E-03    | -1,32E-04  | 8,17E-03 | 7,97E-03   | -1,27E-04 | 7,85E-03 | 7,78E-03      | -1,23E-04  | 7,65E-03 |
| Propan                          | kg Ethen | -           | -          | -        | -          | -         | -        | -             | -          | -        |
| NM VOC aus Dieselemiss.         | kg Ethen | 5,07E-03    | -          | 5,07E-03 | 4,89E-03   | -         | 4,89E-03 | 4,71E-03      | -          | 4,71E-03 |
| NM VOC unspez.                  | kg Ethen | 3,09E-03    | -1,29E-03  | 1,80E-03 | 2,95E-03   | -1,24E-03 | 1,72E-03 | 2,92E-03      | -1,20E-03  | 1,72E-03 |
| VOC unspez.                     | kg Ethen | 2,45E-04    | -1,75E-08  | 2,45E-04 | 2,38E-04   | -1,68E-08 | 2,38E-04 | 3,93E-04      | -1,63E-08  | 3,93E-04 |
| POCP                            | kg Ethen | 1,72E-02    | -1,52E-03  | 1,57E-02 | 1,65E-02   | -1,46E-03 | 1,51E-02 | 1,63E-02      | -1,42E-03  | 1,49E-02 |

|                | Einheit                             | OHNE ZUSATZ                         |            |           | PROBIOTIKA |           |           | SELTENE ERDEN |            |           |           |          |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|----------|
|                |                                     | Brutto                              | Gutschrift | Brutto    | Gutschrift | Netto     | Netto     | Brutto        | Gutschrift | Netto     |           |          |
| Humantoxizität | Klassifizierung = Charakterisierung |                                     |            |           |            |           |           |               |            |           |           |          |
|                |                                     | kg                                  | 9,48E-09   | -1,40E-08 | 4,53E-09   | 9,05E-09  | -1,35E-08 | -4,44E-09     | 8,95E-09   | -1,30E-08 | -4,09E-09 |          |
|                |                                     | kg                                  | 3,32E-07   | -4,97E-08 | 2,82E-07   | 3,16E-07  | -4,77E-08 | 2,68E-07      | 3,21E-07   | -4,64E-08 | 2,75E-07  |          |
|                |                                     | kg                                  | 1,42E-07   | -2,14E-08 | 1,20E-07   | 1,36E-07  | -2,06E-08 | 1,15E-07      | 1,34E-07   | -1,99E-08 | 1,14E-07  |          |
|                |                                     | kg                                  | 5,51E-03   | -1,27E-03 | 4,24E-03   | 5,29E-03  | -1,21E-03 | 4,08E-03      | 5,16E-03   | -1,19E-03 | 3,98E-03  |          |
|                |                                     | kg                                  | 1,74E-01   | -8,83E-03 | 1,65E-01   | 1,66E-01  | -8,48E-03 | 1,57E-01      | 1,65E-01   | -8,24E-03 | 1,57E-01  |          |
|                |                                     | kg                                  | 6,64E-06   | -3,52E-08 | 6,60E-06   | 6,40E-06  | -3,38E-08 | 6,37E-06      | 6,17E-06   | -3,28E-08 | 6,13E-06  |          |
|                |                                     | kg                                  | 3,86E-02   | -2,77E-02 | 1,09E-02   | 3,68E-02  | -2,67E-02 | 1,02E-02      | 3,76E-02   | -2,57E-02 | 1,19E-02  |          |
|                |                                     | kg                                  | 1,14E-02   | -2,02E-03 | 9,40E-03   | 1,09E-02  | -1,95E-03 | 8,95E-03      | 1,10E-02   | -1,88E-03 | 9,15E-03  |          |
|                |                                     | kg                                  | -          | -         | -          | -         | -         | -             | -          | -         | -         |          |
|                |                                     | kg                                  | -          | -         | -          | -         | -         | -             | -          | -         | -         |          |
|                | Ökotoxizität                        | Klassifizierung = Charakterisierung |            |           |            |           |           |               |            |           |           |          |
|                |                                     |                                     | kg         | 3,89E-01  | -2,72E-03  | 3,86E-01  | 3,74E-01  | -2,62E-03     | 3,71E-01   | 3,62E-01  | -2,52E-03 | 3,59E-01 |
|                |                                     | kg                                  | -          | -         | -          | -         | -         | -             | -          | -         | -         |          |
|                |                                     | kg                                  | 8,26E-05   | -2,86E-05 | 5,40E-05   | 7,90E-05  | -2,75E-05 | 5,15E-05      | 7,85E-05   | -2,67E-05 | 5,18E-05  |          |
|                |                                     | kg                                  | 3,86E-02   | -2,77E-02 | 1,09E-02   | 3,68E-02  | -2,67E-02 | 1,02E-02      | 3,76E-02   | -2,57E-02 | 1,19E-02  |          |
|                |                                     | kg                                  | 1,08E-04   | -2,49E-08 | 1,08E-04   | 1,04E-04  | -2,39E-08 | 1,03E-04      | 1,03E-04   | -2,33E-08 | 1,03E-04  |          |
|                |                                     | kg                                  | 1,45E-01   | -4,93E-02 | 9,62E-02   | 1,39E-01  | -4,74E-02 | 9,16E-02      | 1,38E-01   | -4,59E-02 | 9,17E-02  |          |
|                |                                     | kg                                  | -          | -         | -          | -         | -         | -             | -          | -         | -         |          |
|                |                                     | kg                                  | 1,53E-03   | -1,26E-03 | 2,68E-04   | 1,48E-03  | -1,22E-03 | 2,59E-04      | 1,42E-03   | -1,17E-03 | 2,52E-04  |          |
|                |                                     | kg                                  | 2,21E-07   | -4,23E-10 | 2,21E-07   | 2,18E-07  | -4,06E-10 | 2,18E-07      | 2,07E-07   | -3,95E-10 | 2,06E-07  |          |
|                |                                     | kg                                  | 1,66E-07   | -2,13E-05 | 2,11E-05   | 1,61E-07  | -2,05E-05 | 2,04E-05      | 1,66E-07   | -1,98E-05 | 1,66E-07  |          |
|                |                                     | kg                                  | 7,99E-04   | -1,29E-01 | 1,28E-01   | 7,96E-04  | -1,25E-01 | 1,24E-01      | 3,09E-03   | -1,20E-01 | 1,17E-01  |          |
|                |                                     | kg                                  | 4,70E-07   | -2,37E-05 | 2,32E-05   | 4,54E-07  | -2,28E-05 | 2,24E-05      | 4,37E-07   | -2,20E-05 | 2,15E-05  |          |
|                | kg                                  | 1,14E-08                            | -4,03E-07  | 3,92E-07  | 1,15E-08   | -3,87E-07 | 3,75E-07  | 1,59E-08      | -3,76E-07  | 3,60E-07  |           |          |
|                | kg                                  | 1,21E-11                            | -3,00E-13  | 1,18E-11  | 1,16E-11   | -2,88E-13 | 1,13E-11  | 1,14E-11      | -2,80E-13  | 1,11E-11  |           |          |
|                | kg                                  | 2,60E-11                            | -3,49E-14  | 2,59E-11  | 2,50E-11   | -3,34E-14 | 2,49E-11  | 2,43E-11      | -3,26E-14  | 2,42E-11  |           |          |

|                 | Einheit | OHNE ZUSATZ |            |           | PROBIOTIKA |           |           | SELTENE ERDEN |            |           |
|-----------------|---------|-------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|---------------|------------|-----------|
|                 |         | Brutto      | Gutschrift | Brutto    | Gutschrift | Netto     | Netto     | Brutto        | Gutschrift | Netto     |
| sonstige KH (W) | kg      | 7,58E-07    | -3,16E-09  | 7,55E-07  | 7,31E-07   | -3,03E-09 | 7,28E-07  | 7,76E-07      | -2,95E-09  | 7,73E-07  |
| Sulfid (W)      | kg      | 7,69E-11    | -2,71E-09  | -2,64E-09 | 7,77E-11   | -2,60E-09 | -2,53E-09 | 1,07E-10      | -2,53E-09  | -2,43E-09 |
| Zink (W)        | kg      | 8,70E-06    | -2,81E-05  | -1,94E-05 | 8,39E-06   | -2,71E-05 | -1,87E-05 | 8,08E-06      | -2,61E-05  | -1,80E-05 |
| Zinn (W)        | kg      | 3,69E-12    | -1,30E-10  | -1,27E-10 | 3,73E-12   | -1,25E-10 | -1,21E-10 | 5,13E-12      | -1,22E-10  | -1,17E-10 |

## **4 Anhang zum Produktvergleich 3 - Enzymeinsatz in Vollwaschmitteln**

### **4.1 Graphische Darstellung der untersuchten Szenarien**



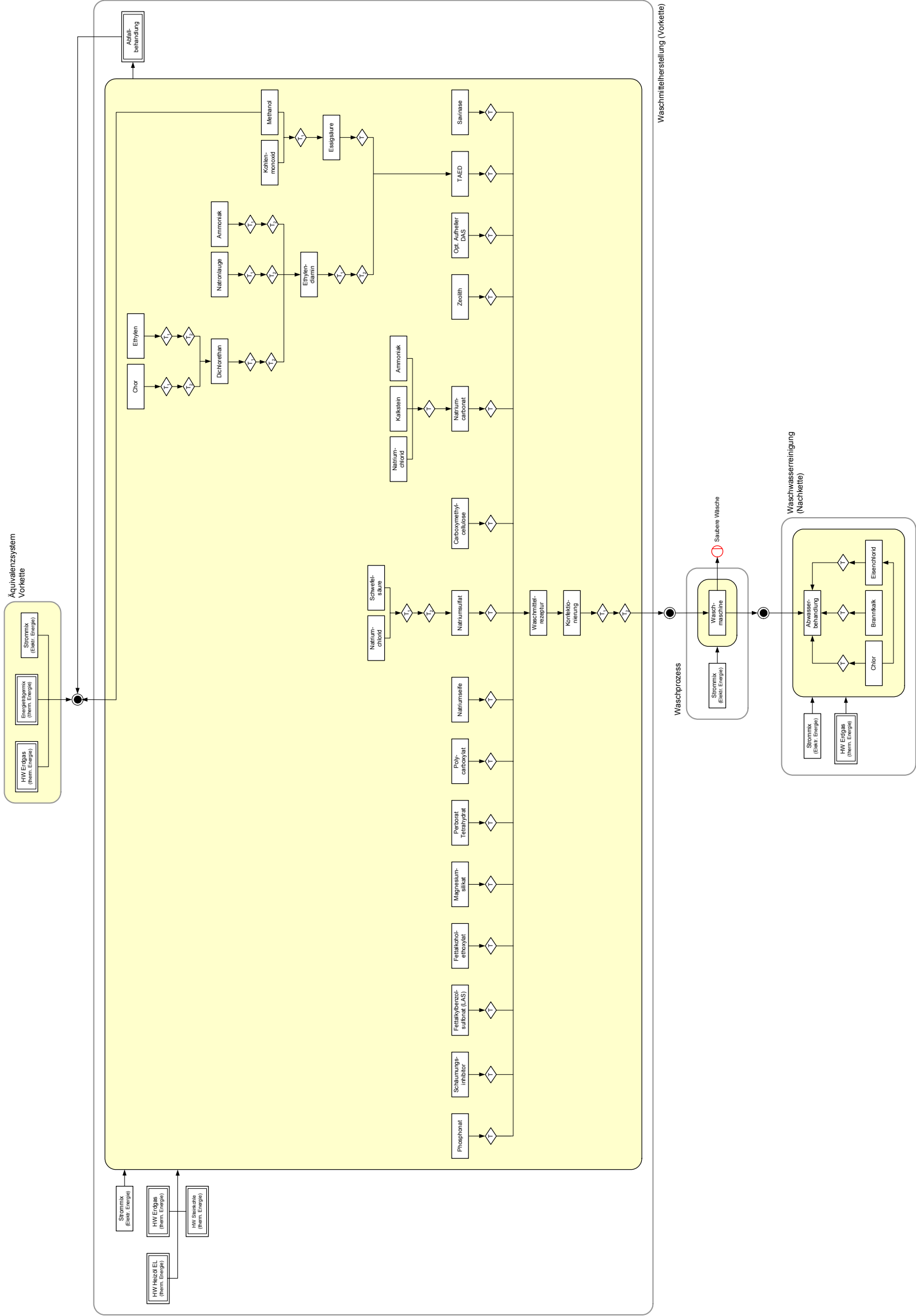


Abbildung 4-1: Szenario MODERNES WASCHMITTEL - vollständiges Bilanzierungsmodell



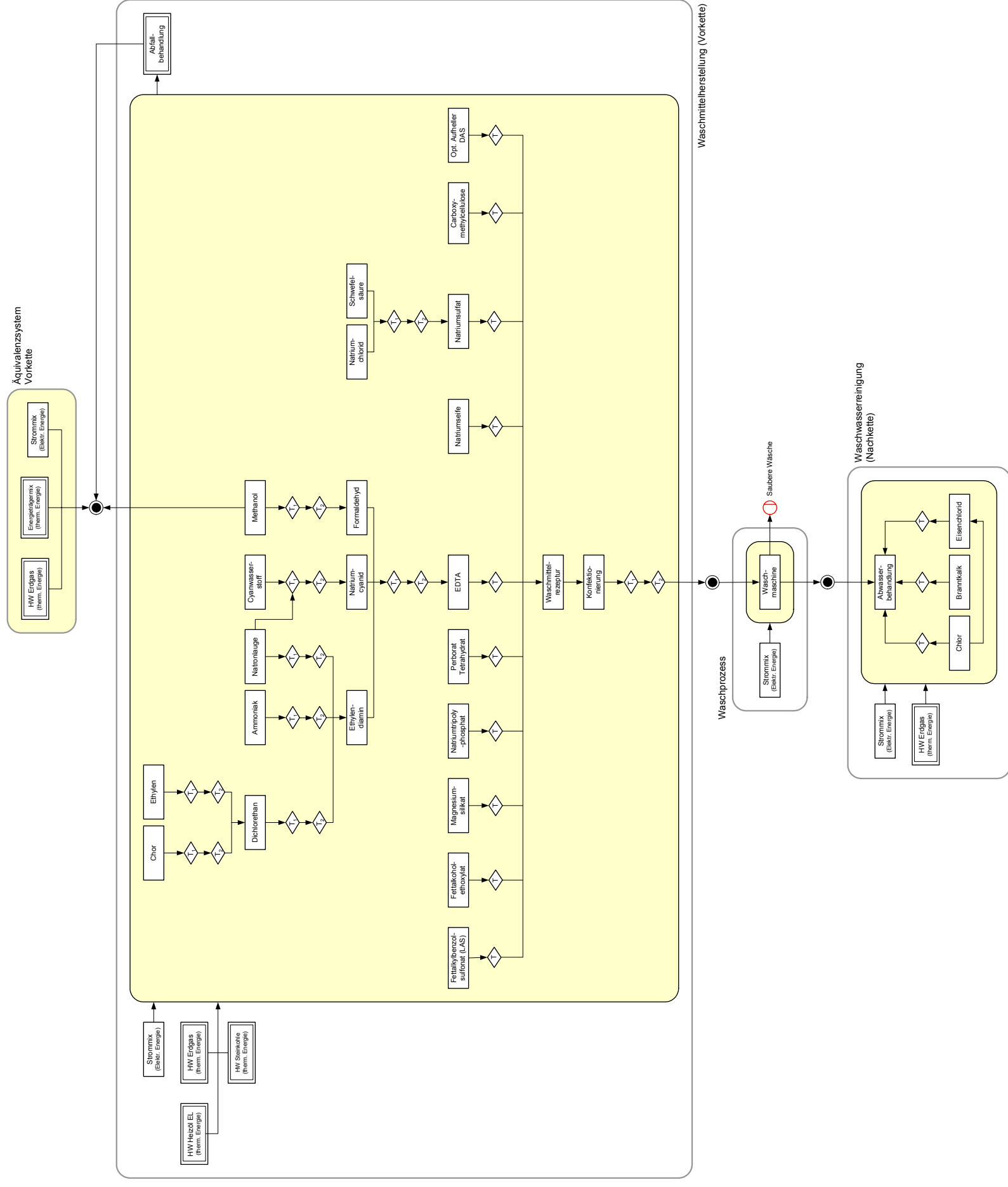


Abbildung 4-2: Szenario TRADITIONELLES WASCHMITTEL - vollständiges Bilanzierungsmodell



## 4.2 Datenherkunft und -qualität

Im Bericht (Modellspezifische Anmerkungen zur Systemgrenze) wurde der zeitliche und geographische Bezug der ökobilanziellen Betrachtung definiert, der mit den politischen Grenzen der Bundesrepublik Deutschland gleichgesetzt wurde. Es ist aber gleichzeitig darauf aufmerksam gemacht worden, dass erfahrungsgemäß ein Teil der für die Modellierung verwendeten Daten davon abweichen kann. Darüber hinaus wurde auch darauf hingewiesen, dass für verschiedene Prozesse Annahmen und Näherungen getroffen werden mussten, um Datenlücken und Unsicherheiten zu schließen.

Die unter diesen Randbedingungen aufgebauten Bilanzierungsmodelle sind im Bericht (Beschreibung der Bilanzierungsmodelle) in ihren Teilsystemen beschrieben sowie vollständig in Abbildung 4-2 und Abbildung 4-1 dargestellt.

In Tabelle 4-1 sind die Module der beiden Abbildungen und damit die für die Modellierung verwendeten Daten dokumentiert. Soweit entsprechende Informationen vorlagen, wurden die Daten bezüglich Datenherkunft, Literaturquellen, Bezugsjahr und Repräsentativität charakterisiert. Darüber hinaus beinhaltet die Tabelle Kurzbeschreibungen der Prozesse, der Annahmen, berücksichtigte Vorketten bzw. integrierte Module sowie Transporte soweit dies nicht durch Vertraulichkeitsvereinbarungen eingeschränkt wird.

Ausführliche Modulbeschreibungen können in den angegebenen Literaturquellen nachgelesen werden.

Tabelle 4-1: Dokumentation der Herkunft und Qualität der zur Bilanzierung verwendeten Daten

| Modul                                    | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                     | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Teilsystem Waschmittelherstellung</b> |                                                                                                                                       |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Ammoniak                                 | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- ifeu (1994)<br>- Patyk und Reinhardt (1997)                                       | 1993, Deutschland                               | Das Modul beschreibt die Herstellung von Ammoniak nach dem Haber-Bosch-Verfahren aus Synthesegas, das aus fossilen Energieträgern und Wasserdampf und/oder Luft erzeugt wird (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-3 und Tabelle 4-5</i>                                                    |
| Carboxymethylcellulose (CMC)             | Datensatz aus Dall'Acqua et al. (1999) basierend auf<br>- Koenig et al. (1989)<br>- Habestatter et al. (1998)<br>- Metsä-Serla (1994) | 1993, Westeuropa<br>(betriebsspezifische Daten) | Das Modul beschreibt die Herstellung von Carboxymethylcellulose aus Cellulosesulfat bzw. -sulfat aus Kiefernholz. Die Cellulose wird zunächst mit Natriumsalz aktiviert. Die dadurch gebildeten Natriumchloride und Glykolate werden im Gegenstromprinzip entfernt.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i> |
| Chlor                                    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1994)<br>- Boustead (1994a)<br>- Gerhartz (1987)                        | Durchschnitt aus 14 europäischen Anlagen        | Das Modul beschreibt die Herstellung von Chlor durch die Chloralkali-Elektrolyse mit den drei Prozessvarianten Amalgam-Verfahren, Diaphragma-Verfahren und Membran-Verfahren (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2, Tabelle 4-3 und Tabelle 4-5</i>                                       |

<sup>12</sup> Die Kurzbeschreibungen fallen unterschiedlich ausführlich aus, was auf die mehr oder weniger detaillierte Dokumentation der Daten und Module in den Datenbanken und Bibliotheken zurückzuführen ist.

<sup>13</sup> Wenn keine Vorketten angegeben sind, handelt es sich meist um einen aggregierten Datensatz, d.h. die Herstellung von Ausgangsstoffen, die Energiebereitstellung oder Transporte sind in das Modul integriert.

<sup>14</sup> Ist kein Transport angegeben, wird das Material von vornherein nicht transportiert (z.B. Energien) oder es ist nicht eindeutig geklärt, ob das Material transportiert wird oder nicht, so dass keine Annahme getroffen werden kann.

| Modul           | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                   | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                         | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cyanwasserstoff | Modul aus Umberto und Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Boustead (1997)<br>- Boustead (1999) | 1992 - 1993, Jahresproduktion aus 3 europäischen Anlagen | Das Modul beschreibt die Herstellung von Cyanidwasserstoff durch eine Reaktion von Methan mit Ammoniak (ifu & ifeu, 2002; ecoinvent, 2003).<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-3 und Tabelle 4-5</i>                                                                                                                                                                         |
| Dichlorethan    | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)                                      | 1997 - 2000<br>Verschiedene europäische Betriebe         | Das Modul beschreibt die Herstellung von Dichlorethan durch oxidative Chlorierung und Chlorierung.<br><i>Berücksichtigte Vorketten: Chlor und Ethylen</i><br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-3 und Tabelle 4-5</i>                                                                                                                                                           |
| Essigsäure      | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)                                      | 90iger Jahre, europäischer Durchschnitt                  | Das Modul beschreibt die Herstellung von Essigsäure nach dem Monsanto-Prozess, in dem Methanol mit Kohlenmonoxid unter dem Einfluss eines Rhodiumkatalysators reagiert (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten: Kohlenmonoxid, Methanol, elektrische und thermische Energie (Erdgas)</i><br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                                 |
| Ethylen         | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1999b)                                                | 1990-1996, 25 Anlagen in Westeuropa                      | Das Modul beschreibt die Produktion von Ethylen durch Steam Cracking. Als Ausgangsstoffe werden Naphta und/oder Erdgas verwendet. Durch Erhitzen werden diese gecrackt. Die Reaktionsprodukte werden anschließend durch Destillation getrennt. Hauptprodukte des Crackers sind Ethylen, Propylen und Buteninsomere.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-3 und Tabelle 4-5</i> |

| Modul                                                | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                      | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                      | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ethylendiamin                                        | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)                                         | 2000, Literaturquellen, Annäherung des Energiebedarfs | Das Modul beschreibt die Herstellung von Ethylendiamin aus Dichlorethan und Ammoniak bei erhöhten Temperaturen und anschließender Neutralisation durch Natriumhydroxid.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Natronlauge, Ammoniak, Dichlorethan, elektrische und thermische Energie (Erdgas)<br><i>Transporte:</i> vgl. Tabelle 4-2, Tabelle 4-3, Tabelle 4-4 und Tabelle 4-5 |
| Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)                  | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Hirschier R. (2003)                                           | 2000, Literaturquellen, Annäherung des Energiebedarfs | Das Modul beschreibt die Herstellung von EDTA aus Ethylendiamin durch alkalische Cyanomethylierung.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Natriumcyanid, Formaldehyd, Ethylendiamin, elektrische und thermische Energie (Erdgas)<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 4-2                                                                                                          |
| Fettalkoholethoxylat aus nachwachsenden Rohstoffen   | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Janzen (1995)<br>- Schul et al. (1995)<br>- Stalmans et al. (1995) | 1992, Westeuropa, Durchschnitt mehrerer Betriebe      | Das Modul beschreibt die Herstellung von Fettalkoholethoxylat durch Ethoxylierung von Fettalkoholen aus Kokosölen durch Ethylenoxid.<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 4-2                                                                                                                                                                                                     |
| Fettalkoholethoxylat aus petrochemischer Herstellung | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Janzen (1995)<br>- Schul et al. (1995)<br>- Stalmans et al. (1995) | 1992, Westeuropa, Durchschnitt mehrerer Betriebe      | Das Modul beschreibt die Herstellung von Fettalkoholethoxylat durch Ethoxylierung von Fettalkoholen aus petrochemischer Herstellung durch Ethylenoxid.<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 4-2                                                                                                                                                                                   |

| Modul                         | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                 | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fettalkylbenzolsulfonat (LAS) | Datensatz aus Dall'Acqua et al. (1999) basierend auf<br>- Berna et al. (1995)<br>- Habestatter et al. (1998)   | 1992, Westeuropa, Durchschnitt mehrerer Betriebe | Das Modul beschreibt die Herstellung von Linearem Alkyl-Benzolsulfonat aus Linearem Alkylbenzol durch Sulfonierung. Das Lineare Alkylbenzol wird durch Alkylierung von Benzol (mit n-Olefinen) mit Hilfe von Aluminiumchlorid bzw. von Flusssäure hergestellt. Für die Sulfonierung wird eine SO <sub>3</sub> Gruppe in das Lineare Alkylbenzol eingeführt.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i> |
| Formaldehyd                   | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)                                 | Aktueller Durchschnitt europäischer Betriebe     | Das Modul beschreibt die Herstellung von Formaldehyd aus Methanol.<br><i>Berücksichtigte Vorketten: Methanol und elektrische Energie</i><br><i>Transporte: vgl. Tabelle 4-3 und Tabelle 4-5</i>                                                                                                                                                                                                   |
| Kalkstein                     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997)<br>- Haberstatter et al. (1998) | 1993, Deutschland                                | Das Modul beschreibt den Abbau von Kalkstein im Tagebau sowie die anschließende Aufbereitung durch Mahlen des Gesteins (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-3</i>                                                                                                                                                                                                                  |
| Kohlenmonoxid                 | Datensatz aus der GEMIS-Datenbank                                                                              | Deutschland                                      | In Fritsche et al. (2002) sind keine Informationen zum Herstellungsprozess angegeben.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Konfektionierung              | - Franke et al. (1995)                                                                                         |                                                  | Dieses Modul beschreibt die Konfektionierung von Pulver-Vollwaschmitteln. Es werden das Eingangslager, der Sprühturm, das Mischen und das Abpacken bilanziert.<br><i>Transporte: vgl. Tabelle 4-2 und Tabelle 4-4</i>                                                                                                                                                                             |
| Magnesiumsilikat              | Keine Daten verfügbar                                                                                          |                                                  | Durch ein Modul zur Herstellung von Natriumschichtsilikat angenähert.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

| Modul           | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                  | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität             | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Methanol        | Datensatz aus der GEMIS-Datenbank basierend auf<br>- DSD (1995)<br>- Vriens (1994) | Mitte 90iger Jahre, Durchschnitt West-europa | Das Modul beschreibt die industrielle Methanolproduktion mit den drei Hauptschritten Produktion von Synthesegas, Synthese von Methanol und Aufarbeitung des Rohmethanols. Bei der chemischen Umwandlung des Synthesegases zu Methanol entsteht u.a. als Zusatznutzen Purgegas, dem eine Gutschrift für eine energetische Verwertung angerechnet wird (Fritzsche et al., 2002).<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2, Tabelle 4-3 und Tabelle 4-5</i>                      |
| Natriumcarbonat | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)     | 1999, Durchschnitt europäischer Anlagen      | Das Modul enthält Sachbilanzdaten aus finnischen und deutschen Literaturquellen, die anscheinend auf state-of-the-art Produktionsanlagen verweisen (ecoinvent, 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Natriumchlorid, Kalkstein, Ammoniak, elektrische und thermische Energie (Steinkohle)<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                                                                                                                                  |
| Natriumchlorid  | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Boustead (1994)                | 1989-90, Westeuropa                          | Das Modul beschreibt die Steinsalzförderung (Soleförderung) im klassischen Bergbau, wobei Wasser in das Salzgestein geleitet und die Sole abgepumpt wird (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transporte: vgl. Tabelle 4-3 und Tabelle 4-5</i>                                                                                                                                                                                                                                    |
| Natriumcyanid   | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Hirschier (2003)          |                                              | Das Modul beschreibt den Herstellungsprozess aus Natronlauge und Cyanwasserstoff durch Neutralisation mit einer Umsetzungsrate von 95 % aufbauend auf stöchiometrischen Berechnungen. Der Energiebedarf ist anhand eines Chemiewerks abgeschätzt. Die Emissionen sind Annahmen (ecoinvent 2003).<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Cyanwasserstoff, Natronlauge, elektrische und thermische Energie (Erdgas)<br><i>Transporte: vgl. Tabelle 4-3 und Tabelle 4-5</i> |

| Modul                         | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                                        | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Natriumtripolyphosphat        | Datensatz aus Dall'Acqua et al. (1999) basierend auf<br>- Habestatter et al. (1998)<br>- Landbank (1994)                   | 1986 bis 1994, Westeuropa, betriebsspezifische Daten                    | Das Modul beschreibt die Herstellung von Natriumtripolyphosphat aus Rophosphat. Nach Erhitzung auf 750 °C reagiert das Phosphat mit Schwefelsäure zu Phosphorsäure. Diese wird in mehreren Schritten gereinigt und anschließend mit Natriumcarbonat neutralisiert und getrocknet.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i> |
| Natriumschichtsilikat (SKS-6) | Datensatz aus Dall'Acqua et al. (1999) basierend auf<br>- Clariant (1998)<br>- Fawer (1997)<br>- Habestatter et al. (1998) | 1990 bis 1997, Westeuropa, durchschnitts- und betriebsspezifische Daten | Das Modul beschreibt die Herstellung von Natriumschichtsilikat im hydrothermalen Prozess. Dabei wird Sand in Natriumhydroxid unter Druck und Temperatur aufgelöst. Nach Abfiltrierung wird das Natriumsilikat dehydriert und bei hohen Temperaturen kristallisiert.                                                     |
| Natriumseife                  | Datensatz aus Dall'Acqua et al. (1999) basierend auf<br>- Habestatter et al. (1998)<br>- Hirsinger and Schick (1995)       | 1992; Westeuropa; Durchschnitt mehrere Betriebe                         | Das Modul beschreibt die Herstellung von Natriumseife aus natürlichen Ölen und Fetten und Natriumhydroxid. 90 % werden durch Verseifung neutraler Öle hergestellt, 10 % durch Verseifung von Fettsäuren.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                                                                          |
| Natriumsulfat                 | Datensatz aus der Ecoinvent-Datenbank basierend auf<br>- Althaus et al. (2003)                                             | 2000, Literaturdaten                                                    | Das Modul beschreibt die Herstellung von Natriumsulfat im Mannheim-Verfahren.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Natriumchlorid, Schwefelsäure, elektrische und thermische Energie (Erdgas und Erdöl)<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                                                                           |
| Natronlauge (Natriumhydroxid) | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Boustead (1994)<br>- Boustead (1994a)<br>- Gerhartz et al. (1987)                    | 1989-90, Durchschnitt Westeuropa                                        | Das Modul beschreibt die Herstellung von Natronlauge durch die Chloralkali-Elektrolyse mit den drei Prozessvarianten Amalgam-Verfahren, Diaphragma-Verfahren und Membran-Verfahren (ifu & ifeu, 2002).<br><i>Transporte: vgl. Tabelle 4-3 und Tabelle 4-5</i>                                                           |

| Modul                                                 | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                      | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                               | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Optische Aufheller<br>DAS-1 Triazinylaminostilben-Typ | Datensatz aus Dall'Acqua et al. (1999) basierend auf<br>- Bretz und Frankhauser (1996)<br>- Habestatter et al. (1998)<br>- CIBA (1999) | 1997, Westeuropa, Daten eines Hauptproduzenten                 | Das Modul beschreibt die Herstellung von Triazinylaminostilben aus entsprechender Disulfonsäure mittels Béchamps Reduktion.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                                                                                                                 |
| Phosphonate                                           | Keine Daten verfügbar                                                                                                                  |                                                                | Das Modul ist leer, da weder Prozessdaten vorlagen noch ein vergleichbarer Herstellungsprozesses recherchiert werden konnte. In das Ergebnis gehen damit nur Aufwendungen und Emissionen des Transportes ein.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                               |
| Perborat-Tetrahydrat                                  | Datensatz aus Dall'Acqua et al. (1999) basierend auf<br>- Bousted und Fawer (1998)<br>- Habestatter et al. (1998)                      | 1990 bis 1995, Westeuropa, Durchschnittliche mehrerer Betriebe | Das Modul beschreibt die Herstellung von Perborat-Tetrahydrat. Dafür wird borhaltiges Mineral in Natronlauge aufgelöst, abfiltriert und mittel Wasserstoffperoxid auskristallisiert und getrocknet.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                                         |
| Polycarboxylate                                       | Datensatz aus Dall'Acqua et al. (1999) basierend auf<br>- Fawer und Fecker (1993)<br>- Habestatter et al. (1998)<br>- Henkel (1992)    | 1989 bis 1995, Westeuropa, betriebsspezifische Daten           | Das Modul beschreibt die Herstellung von Polycarboxylat aus Benzol und Propylen. Diese beiden Substanzen werden zu Säuren oxidiert. Diese werden mit Hilfe von Wasserstoffperoxid polymerisiert und mit Natriumhydroxid in Salze überführt.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i> |
| Savinase 10 TA+                                       | - Schmidt and Henriksen (1996)                                                                                                         |                                                                | Das Modul beschreibt die Herstellung von Savinase 10 TA+ durch Fermentation mit anschließender Filtration, Trocknung und Granulierung.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                                                                                                      |
| Schäumungsinhibitor                                   | Keine Daten verfügbar                                                                                                                  |                                                                | Das Modul ist leer, da weder Prozessdaten vorlagen noch ein vergleichbarer Herstellungsprozesses recherchiert werden konnte. In das Ergebnis gehen damit nur Aufwendungen und Emissionen des Transportes ein.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                               |

| Modul                                  | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                     | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                               | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Schwefelsäure                          | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997)                        | 1993, Deutschland                                              | Das Modul beinhaltet einen Mix der in Deutschland verwendeten Herstellungsprozesse entsprechend ihres Anteils an der Gesamtproduktion (ifu & ifeu, 2002)<br><i>Transporte: vgl. Tabelle 4-3 und Tabelle 4-5</i>                                                                                |
| Tetraacetylenethyldiamin (TAED)        | - Bott et al. (1978)                                                                                  | Patent                                                         | Das Modul beschreibt die Herstellung von TAED aus Acetanhydrid und Ethyendiamin.<br><i>Berücksichtigte Vorketten: Essigsäure und Ethylendiamin</i><br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                                                                                                       |
| Waschmittelrezeptur                    | - DIN (2003)                                                                                          | -                                                              | Zusammensetzung von traditionellem und modernem Waschmittel.                                                                                                                                                                                                                                   |
| Zeolith A (Pulver)                     | Datensatz aus Dall'Acqua et al. (1999) basierend auf<br>- Fawer (1996)<br>- Habestatter et al. (1998) | 1990 bis 1995, Westeuropa, Durchschnittliche mehrerer Betriebe | Das Modul beschreibt die Herstellung von Zeolith im Wassergel Prozess. Lösungen aus Aluminiumhydroxid und Natriumsilikat werden vermischt, um amorphes Natrium-Aluminium-Silikat zu bilden. Dieses wird zu hydrothermisch kristallisiert und getrocknet.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i> |
| <b>Teilsystem Waschprozess</b>         |                                                                                                       |                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Waschmaschine                          | - DIN (2003)<br>- Eberle und Grieshammer (2001)<br>- Grieshammer et al. (1997)                        | Durchschnittswerte                                             | Das Modul beschreibt den Wasser- und Energieverbrauch des Waschvorgangs sowie die Füllmenge an Wäsche und die dosierte Waschmittelmenge.<br><i>Berücksichtigte Vorketten: Teilsystem Waschmittelherstellung und elektrische Energie</i>                                                        |
| <b>Teilsystem Waschwasserreinigung</b> |                                                                                                       |                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Brannkalk                              | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Patyk und Reinhardt (1997)                        | -                                                              | Das Modul beschreibt die Herstellung von Brannkalk aus Kalziumcarbonat. Dies umfasst den Abbau, das Mahlen und Brennen des Gesteins.<br><i>Transport: vgl. Tabelle 4-2</i>                                                                                                                     |

| Modul              | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chlor              |                                                                                |                                  | Das Modul ist weiter oben beschrieben.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Eisenchlorid       | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Gerhartz (1996a)<br>- N.N. | 2000, Deutschland                | Das Modul beschreibt die Herstellung einer Eisenchloridlösung, deren Herstellung auf der Oxidation von Eisen(II)-Chlorid durch gasförmiges Chlor basiert.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Chlor und elektrische Energie<br><i>Transport:</i> vgl. Tabelle 4-2                                                                                                                                                                                |
| Abwasserbehandlung | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- ifeu (1994)                | 1994, Deutschland                | Das Modul beschreibt eine Kläranlage mit weitergehende Reinigung inklusive der Vorketten auf Basis der durchschnittlichen Reinigungseffizienz kommunaler biologischer Anlagen (ifu & ifeu, 2002). Die Abwasserbehandlung wird dabei durch die Abwasser- sowie den Ammoniumgehalt, AOX, BSB <sub>5</sub> , CSB und Phosphorgehalt parametrisiert.<br><i>Berücksichtigte Vorketten:</i> Teilsystem Waschprozess, Branntkalk, Chlor und Eisenchlorid |

| Modul                                               | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                 | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|--|----------------|-----------|------------|--------|--------|------------|--------|-------|--------|--------|--------|-----------|-------|--------|
| Äquivalenzsysteme                                   |                                                                                                                   |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Energieträgermix<br>Deutschland<br>(therm. Energie) | Subnetz basierend auf dem<br>Bilanzierungsmodellen aus<br>- Würdinger et al. (2002)<br>- Hottenroth et al. (2004) | 90iger Jahre,<br>Deutschland                        | <p>Der thermische Energieträgermix Deutschland wurde aus Würdinger et al. (2002) entnommen. Danach wird 52 % der in Deutschland benötigten thermischen Energie in Form von industrieller Wärme (Prozesswärme) und 48 % in Form von Fernwärme erzeugt.</p> <p>Die Prozesswärme wird zu 100 % in Heizwerken erzeugt.</p> <p>Die Fernwärme wird zu 70 % in Heizkraftwerken, 28 % in Heizwerken und 2 % in Müllverbrennungsanlagen erzeugt. Der durchschnittliche Brennstoffeinsatz ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst (nach Würdinger et al., 2002). Bei der Modellierung wurde der Anteil der Müllverbrennungsanlagen vernachlässigt und auf die Heiz- bzw. Heizkraftwerke verteilt.</p> <table><tr><th rowspan="2">Brennstoff</th><th colspan="2">Anteil der Brennstoffe [%]</th></tr><tr><th>Heizkraftwerke</th><th>Heizwerke</th></tr><tr><td>Steinkohle</td><td>51,7 %</td><td>20,5 %</td></tr><tr><td>Braunkohle</td><td>17,9 %</td><td>6,8 %</td></tr><tr><td>Erdgas</td><td>21,1 %</td><td>54,7 %</td></tr><tr><td>Mineralöl</td><td>7,4 %</td><td>17,9 %</td></tr></table> <p><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> HKW Braunkohle, HKW Steinkohle, HKW Erdgas, HW Braunkohle, HW Steinkohle, HW Erdgas, HW Heizöl S</p> | Brennstoff | Anteil der Brennstoffe [%] |  | Heizkraftwerke | Heizwerke | Steinkohle | 51,7 % | 20,5 % | Braunkohle | 17,9 % | 6,8 % | Erdgas | 21,1 % | 54,7 % | Mineralöl | 7,4 % | 17,9 % |
| Brennstoff                                          | Anteil der Brennstoffe [%]                                                                                        |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
|                                                     | Heizkraftwerke                                                                                                    | Heizwerke                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Steinkohle                                          | 51,7 %                                                                                                            | 20,5 %                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Braunkohle                                          | 17,9 %                                                                                                            | 6,8 %                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Erdgas                                              | 21,1 %                                                                                                            | 54,7 %                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| Mineralöl                                           | 7,4 %                                                                                                             | 17,9 %                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |
| HKW Braunkohle                                      | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001)                                        | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | <p>Teil des Subnetzes Energieträgermix Deutschland.</p> <p>Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer und elektrischer Energie in einem Braunkohle-Heizkraftwerk mit einer Leistung von 50 MW<sub>el</sub> (ifu &amp; ifeu, 2002).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |            |                            |  |                |           |            |        |        |            |        |       |        |        |        |           |       |        |

| Modul          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                        |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HKW Erdgas     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Teil des Subnetzes Energieträgermix Deutschland.<br>Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer und elektrischer Energie in einem Erdgas-Heizkraftwerk mit Gasturbine und einer Leistung von 10 MWel (ifu & ifeu, 2002).                                                      |
| HKW Steinkohle | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Teil des Subnetzes Energieträgermix Deutschland.<br>Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer und elektrischer Energie in einem Steinkohle-Heizkraftwerk mit einer Leistung von 100 MWel (ifu & ifeu, 2002).                                                                |
| HW Braunkohle  | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Teil des Subnetzes Energieträgermix Deutschland.<br>Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in einem Braunkohle-Heizkraftwerk mit rheinischer Braunkohle aus den rheinischen Abbaubereichen. Die Leistung des Heizkessels liegt bei 10 MW(th) (ifu & ifeu, 2002). |
| HW Erdgas      |                                                                            |                                                     | Teil des Subnetzes Energieträgermix Deutschland.<br>Das Modul ist weiter unten beschrieben                                                                                                                                                                                             |
| HW Heizöl EL   |                                                                            |                                                     | Teil des Subnetzes Energieträgermix Deutschland.<br>Das Modul ist weiter unten beschrieben                                                                                                                                                                                             |
| HW Heizöl S    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Teil des Subnetzes Energieträgermix Deutschland.<br>Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in einem Schwerölheizwerk im Bereich von 50 - 200 MW(th). Dieser Heizwerkstyp wird zur industriellen Prozesswärme-Erzeugung eingesetzt (ifu & ifeu, 2002).            |
| HW Steinkohle  |                                                                            |                                                     | Teil des Subnetzes Energieträgermix Deutschland.<br>Das Modul ist weiter unten beschrieben                                                                                                                                                                                             |
| Strommix       |                                                                            |                                                     | Das Modul ist weiter unten beschrieben.                                                                                                                                                                                                                                                |

| Modul                                             | Datenherkunft<br>Literaturquellen | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Basismodule Abfall- und Abwasserbehandlung</b> |                                   |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Abfallbehandlung                                  |                                   |                                  | <p>Das Subnetz beschreibt den Umgang mit Abfällen zur Beseitigung, die nicht unter das Abschneidekriterium fallen. Die Aufteilung dieser Abfälle wurde wie folgt vorgenommen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- hausmüllähnliche Abfälle in den Beseitigungsmix Deutschland (bestehend aus MVA und Hausmülldeponie)</li><li>- Abfälle zur Verbrennung in eine Müllverbrennungsanlage</li><li>- Schlacken, Aschen, Inertstoffe in eine Schlackedeponie</li></ul> <p>Abfall zur Beseitigung</p> <pre>graph TD; A((Abfall zur Beseitigung)) --&gt; B[Aufteilung]; B --&gt; C{T}; B --&gt; D{T}; B --&gt; E{T}; C --&gt; F[MVA]; C --&gt; G[Hausmüll-deponie]; D --&gt; H[MVA]; D --&gt; I[Schlacke-deponie]; E --&gt; J[MVA]; E --&gt; K[Schlacke-deponie]; F --&gt; L{T}; G --&gt; L; H --&gt; M{T}; I --&gt; M; J --&gt; M; K --&gt; M; L --&gt; N[ ]; M --&gt; N;</pre> <p><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Beseitigungsmix, Müllverbrennungsanlage, Schlackedeponie<br/><i>Transport:</i> vgl.</p> |

| Modul                          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                                                  | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität    | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beseitigungsmix<br>Deutschland | Subnetz basierend auf dem<br>Bilanzierungsmodellen aus<br>- Würdinger et al. (2002)<br>- Hottenroth et al. (2004)                                                                                                                                  | Anfang 00iger Jahre,<br>Deutschland | Teil des Subnetzes Abfallbehandlung.<br>Im Beseitigungsmix Deutschland werden die Abfälle entsprechend der Situation in Deutschland zu 38 % in einer Müllverbrennungsanlage thermisch behandelt und zu 62 % unbehandelt deponiert. Von den deponierten Abfällen werden zwischen 3 % und 4 % zuvor mechanisch-biologisch behandelt. Da derzeit aber keine verlässlichen Daten zu den Umweltauswirkungen der MBA vorliegen, wird angenommen, dass dieser (geringe) Anteil Abfall auch direkt deponiert wird.<br><i>Integrierte Module/Subnetze:</i> Hausmülldeponie, Müllverbrennungsanlage<br><i>Transport:</i> vgl.             |
| Hausmülldeponie                | Subnetz aus der Umberto-<br>Bibliothek basierend auf<br>- Eggels und van der Ven<br>(1995)<br>- Ehrig (1997)<br>- Habersatter et al. (1998)<br>- Rettenberger (1997)<br>- Rettenberger und Stegmann (1997)<br>- Schuhmann (1997)<br>- Weber (1990) | 90iger Jahre,<br>Deutschland        | Teil des Subnetzes Abfallbehandlung.<br>Das Subnetz beschreibt die Emissionen und den Betriebsmittelverbrauch bei der Ablagerung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfällen in einer Deponie mit den beiden Hauptemissionspfaden Sickerwasser und Deponiegas. Sowohl das Sickerwasser als auch das Deponiegas werden unterschiedlichen Entsorgung- und Behandlungswegen bis hin zur Klärschlamm-trocknung und -verbrennung bzw. zur Verbrennung oder Verstromung des Deponiegases unterzogen (ifu und ifeu, 2002). Die erzeugte Energie wird als Gutschrift ausgewiesen und entsprechend verrechnet.<br><i>Transport:</i> vgl. |

| Modul                                  | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Müllverbrennungs-<br>anlage            | <p>Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auksutat und Löffler (1998)</li> <li>- Achernbosch und Richers (1997)</li> <li>- Achernbosch und Richers (1998)</li> <li>- ifeu (2002)</li> <li>- Schäfl (1995)</li> <li>- Thome-Kozmiensky (1995)</li> <li>- UBA (1999)</li> </ul>                                                                                                                                           | Mitte 90iger Jahre, Deutschland  | <p>Teil des Subnetzes Abfallbehandlung.</p> <p>Das Modul beschreibt die Verbrennung von Hausmüll bzw. von haushälterischen Abfällen in einer Müllverbrennungsanlage neuerer Bauart vom Typ der Rostfeuerung mit hohem Standard der Abgasreinigung. Der elektrische Nutzungsgrad der Anlage ist mit 10 % und der thermische Nutzungsgrad mit 30 % definiert (ifu und ifeu, 2002). Die erzeugte Energie wird als Gutschrift ausgewiesen und entsprechend verrechnet.</p> <p><i>Transport:</i> vgl.</p> |
| Schlackedeponie<br>(Inertstoffdeponie) | <p>Subnetz aus der Umberto-Bibliothek basierend auf</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BfU (1998)</li> <li>- Ehrig (1997)</li> <li>- Förstner et al. (1997)</li> <li>- Habersatter et al. (1998)</li> <li>- Hirschmann und Förstner (1997)</li> <li>- Kersten et al. (1995)</li> <li>- Regener et al. (1997)</li> <li>- Rettenberger und Stegmann (1997)</li> <li>- Simon (1995)</li> <li>- Turk (1997)</li> <li>- UBA (unveröffentlichte Mitteilungen)</li> </ul> | 1997, Deutschland                | <p>Teil des Subnetzes Abfallbehandlung.</p> <p>Das Subnetz beschreibt die Emissionen und den Betriebsmittelverbrauch bei der Ablagerung von Aschen und Schlacken auf einer Schlackedeponie mit den beiden Hauptemissionspfaden Sickerwasser und Deponiegas. Eine energetische Verwertung des Sickerwassers und des Deponiegases, wie bei der Hausmülldeponie, ist nicht implementiert (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> <p><i>Transport:</i> vgl.</p>                                                      |

| Modul                                                 | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abwasserbehandlung                                    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- ifeu (1994)            | 1994, Deutschland                                   | Das Modul beschreibt eine Kläranlage mit weitergehende Reinigung inklusive der Vorketten auf Basis der durchschnittlichen Reinigungseffizienz kommunaler biologischer Anlagen (ifu & ifeu, 2002). Die Abwasserbehandlung wird dabei durch die Abwassermenge sowie den Ammoniumgehalt, AOX, BSB <sub>5</sub> , CSB und Phosphorgehalt parametrisiert. |
| <i>Basismodule Energieträger und Energieerzeugung</i> |                                                                            |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| HW Erdgas                                             | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in Erdgasheizkesseln mit Leistungen von 1 bis 10 MW(th). Die Kessel stellen durchschnittliche Industriekessel zur Bereitstellung von Prozess- und Fernwärme dar (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                     |
| HW Heizöl EL                                          | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt ein Heizwerk für leichtes Heizöl mit Gebläsebrenner mit einer Leistung von 1 MW (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                                             |
| HW Steinkohle                                         | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001) | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Herstellung von thermischer Energie in einem Steinkohle-Heizwerk mit einer Leistung von 50 MW(th) (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                       |

| Modul                                  | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                               | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                         | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|------------|----|------------|------|-----|-----|----------|------|-----------|------|--------|------|------|------|-------------------|------|
| Strommix Deutschland (elektr. Energie) | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- BMWi (2000)<br>- Frischknecht et al. (1996) | Ende 90iger Jahre, Deutschland (AKW Anfang 90iger Jahre) | <p>Das Modul beschreibt die mittleren Verhältnisse der öffentlichen Stromerzeugung in Deutschland. Der zugrunde liegende Energiemix aus dem Jahr 1998 ist in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.</p> <table><tr><th>Ressource</th><th>Beitrag zur Stromerzeugung [%]</th></tr><tr><td>Steinkohle</td><td>27</td></tr><tr><td>Braunkohle</td><td>27,3</td></tr><tr><td>Gas</td><td>7,6</td></tr><tr><td>Heizöl S</td><td>0,47</td></tr><tr><td>Kernkraft</td><td>32,5</td></tr><tr><td>Wasser</td><td>3,86</td></tr><tr><td>Wind</td><td>0,34</td></tr><tr><td>Abfallverbrennung</td><td>0,93</td></tr></table> <p>Beim Transport von den Kraftwerken zum Verbraucher erfährt der Strom Umspannungs- und Leitungsverluste, deren Höhe vom Spannungsniveau des nachgefragten Stromes abhängt. Als mittlerer Netzmix wurde folgende Verteilung angenommen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Hochspannung: 20 %</li><li>- Mittelspannung: 30 %</li><li>- Niederspannung: 50 %</li></ul> <p>Das Modul umfasst die Kraftwerksprozesse zur Stromerzeugung mit Stein- und Braunkohle, Erd-, Koks- und Hochofengas und Kern-, Wasser- und Windkraft sowie die zugehörigen Brennstoffvorketten für Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Kokerei- und Hochofengas und Brennelemente als auch die Deponierung oder Verbrennung von Abfällen (ifu &amp; ifeu, 2002).</p> | Ressource | Beitrag zur Stromerzeugung [%] | Steinkohle | 27 | Braunkohle | 27,3 | Gas | 7,6 | Heizöl S | 0,47 | Kernkraft | 32,5 | Wasser | 3,86 | Wind | 0,34 | Abfallverbrennung | 0,93 |
| Ressource                              | Beitrag zur Stromerzeugung [%]                                                                  |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Steinkohle                             | 27                                                                                              |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Braunkohle                             | 27,3                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Gas                                    | 7,6                                                                                             |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Heizöl S                               | 0,47                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Kernkraft                              | 32,5                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Wasser                                 | 3,86                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Wind                                   | 0,34                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |
| Abfallverbrennung                      | 0,93                                                                                            |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                                |            |    |            |      |     |     |          |      |           |      |        |      |      |      |                   |      |

| Modul                            | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                                                                                                                                        | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität              | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Basismodule Energieträger</i> |                                                                                                                                                                                                                          |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Bereitstellung Braunkohle        | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fritsche et al. (2001)</li> <li>- Frischknecht et al. (1996)</li> </ul>                                                          | Anfang 90iger Jahre, Durchschnitt Deutschland | Das Modul beschreibt den Abbau, die Förderung und den Transport von rheinischer Braunkohle. In Deutschland wird nahezu ausschließlich Braunkohle aus heimischer Förderung verwendet. Dabei werden die Abbaubereiche aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzungen der erschiedenen Braunkohlen in rheinisch, westelbisch und ostelbisch unterteilt. Die rheinische Braunkohle wird ausschließlich im Tagebau abgebaut. Der Transport zum Industriebetrieb, zum Kraftwerk oder zum Brikettwerk wird aufgrund der kurzen Entfernung innerhalb des rheinischen Reviers vernachlässigt (ifu & ifeu, 2002). |
| Bereitstellung Erdgas            | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf <ul style="list-style-type: none"> <li>- BMWi (2000)</li> <li>- Fritsche et al. (2001)</li> <li>- Frischknecht et al. (1996)</li> <li>- Kohlewirtschaft (2000)</li> </ul> | Anfang 90iger Jahre, Durchschnitt Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung und Aufbereitung von durchschnittlichem in Deutschland eingesetztem Erdgas. Der Durchschnitt setzt sich aus einem Split (bezogen auf den Heizwert) wie folgt zusammen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deutschland: 21 %</li> <li>- ehem. GUS: 36 %</li> <li>- Niederlande: 22 %</li> <li>- Norwegen: 21 %</li> </ul> Der Transport des Erdgases erfolgt bis an das Kraftwerk bzw. den Industriebetrieb (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                   |
| Bereitstellung Heizöl leicht     | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fritsche et al. (2001)</li> <li>- Frischknecht et al. (1996)</li> </ul>                                                          | Anfang 90iger Jahre, Durchschnitt Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung, den Transport und die Raffination des in Deutschland verwendeten Heizöls EL. Heizöl EL wird aus importiertem Erdöl in heimischen Raffinerien hergestellt. Die Herkunft wird nach den Herstellern D, EU, ehem. GUS und OPEC unterschieden. Im Anschluss an die Raffinerie wird das erzeugte Heizöl EL über nationale bzw. regionale Verteilungsstrukturen mittels Bahn zum Kraftwerk oder dem Industriebetrieb gebracht (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                            |

| Modul                           | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                            | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität                    | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bereitstellung<br>Heizöl schwer | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Fritsche et al. (1994)                                 | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung, den Transport und die Raffination des in Deutschland verwendeten Heizöls S. Heizöl S wird dabei sowohl direkt importiert als auch aus importiertem Erdöl in heimischen Raffinerien hergestellt. Die Herkunft wird nach den Herstellern ehem. GUS, EU und OPEC unterschieden. Im Anschluss an die Raffinerie wird das erzeugte Heizöl S über nationale bzw. regionale Verteilungsstrukturen mittels Bahn zum Kraftwerk oder dem Industriebetrieb gebracht (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                               |
| Bereitstellung<br>Steinkohle    | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Kohlewirtschaft (2000)                   | Anfang 90iger Jahre,<br>Durchschnitt<br>Deutschland | Die Transition beschreibt den Abbau, die Förderung und den Transport von in Deutschland verwendeter Steinkohle. Der Datensatz stellt einen Mischdatensatz aus den verschiedenen Import-Steinkohlen nach Kohlewirtschaft (2000) dar. Insgesamt werden ca. 1/3 der in Deutschland verwendeten Steinkohle importiert. Die restlichen 2/3 stammen aus deutscher Förderung. Der Steinkohlensplit setzt sich wie folgt zusammen (ifu & ifeu, 2002):<br><ul style="list-style-type: none"> <li>- BRD 62,1 %</li> <li>- Polen (u. Osteuropa): 12,5 %</li> <li>- Südafrika: 10,2 %</li> <li>- Kolumbien/Kanada/USA: 7,8 %</li> <li>- Australien: 4,1 %</li> <li>- Niederlande (u. sonst. Westeuropa): 3,3 %.</li> </ul> |
| Erdgas, Importmix               | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Frischknecht et al. (1994)<br>- Fritsche et al. (1994) | Anfang 90iger Jahre,<br>Deutschland                 | Das Modul beschreibt die Förderung, die Aufbereitung und den Transport von durchschnittlichem in Deutschland importiertem Erdgas. Es wird von einem Importanteil von 85 % ausgegangen, der sich zu 45 % und die ehemalige GUS, zu 30 % auf die Niederlande und zu 25 % auf Norwegen verteilt (ifu & ifeu, 2002).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

| Modul                          | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                          | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität    | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Basismodule Hilfsstoffe</b> |                                                                                                            |                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Diesel                         | Modul aus der Umberto-Bibliothek basierend auf<br>- Fritsche et al. (2001)<br>- Frischknecht et al. (1996) | Anfang 90iger Jahre,<br>Deutschland | Das Modul beschreibt die Förderung, den Transport und die Refination des in Deutschland verwendeten Diesels. Diesel wird aus importiertem Erdöl in heimischen Raffinerien hergestellt. Die Herkunft wird nach den Herstellern D, EU, GUS und OPEC unterschieden. Im Anschluss an die Raffinerie wird das Diesel über nationale bzw. regionale Verteilungsstrukturen mittels Tankfahrzeugen zur Tankstelle gebracht (ifu & ifeu, 2002). |
| <b>Basismodule Transporte</b>  |                                                                                                            |                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Bahn                           | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Borken et al. (1999)                                                 | 1996, Deutschland                   | Das Modul beschreibt den Güterbahntransport der Deutschen Bundesbahn inklusive der Bereitstellung der notwendigen Sekundärenergien Diesel und Strom. Die Spezifikation des Transports wird über die Transportentfernung oder die Transportleistung sowie über die Zugattung (Ganzzug, kombinierter Ladungsverkehr, Einzelwagenzug) vorgenommen (ifu & ifeu, 2002).                                                                     |

| Modul           | Datenherkunft<br>Literaturquellen                                                                              | Bezugsjahr,<br>Repräsentativität | Kurzbeschreibungen <sup>12</sup> , Annahmen, Vorketten <sup>13</sup> , Transporte <sup>14</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------|-------------------|-------|---------------|--------|------------|-------------|--------|------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|-----------------|--------|------|-----------------|---|--------|
| Lkw             | Modul aus der Umberto-Bibliothek<br>- Borken et al. (1998)<br>- Knörr et al. (1998)<br>- Schmidt et al. (1998) | 1996, Deutschland                | <p>Das Modul beschreibt den Lkw-Transport von Gütern inklusive der Bereitstellung des notwendigen Kraftstoffes. Zur Spezifikation können als Parameter die Transportentfernung oder Transportleistung, der Auslastungsgrad der Hin- und Rückfahrt, der Fahrzeugtyp und die Fahrleistungsanteile auf Autobahn, Landstraßen und Innerortsstraßen definiert werden (ifu &amp; ifeu, 2002). In der nachfolgenden Tabelle sind die zur Verfügung stehenden Lkw-Fahrzeugklassen zusammengefasst.</p> <table><tr><th></th><th>Zulässiges Gesamtgewicht</th><th>Maximale Nutzlast</th></tr><tr><td>1 LKW</td><td>3,5 bis 7,5 t</td><td>3,75 t</td></tr><tr><td>2 Solo Lkw</td><td>14 bis 20 t</td><td>10,5 t</td></tr><tr><td>3 Solo Lkw</td><td>&gt; 20 t</td><td>15,3 t</td></tr><tr><td>4 Lkw/Sattelzug</td><td>&lt; 32 t</td><td>20,5 t</td></tr><tr><td>5 Lkw/Sattelzug</td><td>&gt; 32 t</td><td>28 t</td></tr><tr><td>6 Mittlerer Lkw</td><td>-</td><td>17,5 t</td></tr></table> |  | Zulässiges Gesamtgewicht | Maximale Nutzlast | 1 LKW | 3,5 bis 7,5 t | 3,75 t | 2 Solo Lkw | 14 bis 20 t | 10,5 t | 3 Solo Lkw | > 20 t | 15,3 t | 4 Lkw/Sattelzug | < 32 t | 20,5 t | 5 Lkw/Sattelzug | > 32 t | 28 t | 6 Mittlerer Lkw | - | 17,5 t |
|                 | Zulässiges Gesamtgewicht                                                                                       | Maximale Nutzlast                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 1 LKW           | 3,5 bis 7,5 t                                                                                                  | 3,75 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 2 Solo Lkw      | 14 bis 20 t                                                                                                    | 10,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 3 Solo Lkw      | > 20 t                                                                                                         | 15,3 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 4 Lkw/Sattelzug | < 32 t                                                                                                         | 20,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 5 Lkw/Sattelzug | > 32 t                                                                                                         | 28 t                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |
| 6 Mittlerer Lkw | -                                                                                                              | 17,5 t                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                          |                   |       |               |        |            |             |        |            |        |        |                 |        |        |                 |        |      |                 |   |        |

### 4.3 Überblick Transporte

Tabelle 4-2 bis Tabelle 4-5 fassen die modellierten Transporte zusammen. Neben dem Transportmittel Lkw oder Bahn unterscheiden sich die verwendeten Datensätze auch in der Angabe der zurückzulegenden Strecke. Zum einen war die tatsächliche Transportentfernung anzugeben, zum anderen wurde die Strecke aus der Angabe der Transportleistung in Tonnenkilometer (tkm) errechnet. Eine Beschreibung der Transportmodule befindet sich in Tabelle 4-1.

Tabelle 4-2: Parameter zur Modellierung der LKW-Transporte bei Angabe der Transportentfernung

| Transport                                                                 | Entfernung<br>[km] | Auslastung [%] |                | Nutzlast<br>[t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                           |                    | Hinfahrt       | Rück-<br>fahrt |                 | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| Abfall zur Hausmülldeponie                                                | 25                 | 50             | 50             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Abfall zur Müllverbrennungsanlage                                         | 25                 | 50             | 50             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Abfall zur Schlackedeponie (Inertstoffdeponie)                            | 25                 | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Brantkalk vom Hersteller zur Abwasserreinigung                            | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Carboxymethylcellulose vom Hersteller zur Waschmittelherstellung          | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Chlor vom Hersteller zur Abwasserreinigung                                | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Eisenchlorid vom Hersteller zur Abwasserreinigung                         | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Essigsäure vom Hersteller zur Tetraacetylenethyldiamin-Herstellung        | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Ethylendiamin vom Hersteller zur Tetraacetylenethyldiamin-Herstellung (1) | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Ethylendiamintetraessigsäure vom Hersteller zur Waschmittelherstellung    | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Fettalkoholethoxylat vom Hersteller zur Waschmittelherstellung            | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |

| Transport                                                                                                            | Entfernung<br>[km] | Auslastung [%] |                | Nutzlast<br>[t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                                                                      |                    | Hinfahrt       | Rück-<br>fahrt |                 | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| Fettalkylbenzolsulfonat vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                    | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Kohlenmonoxid vom Hersteller zur Essigsäureherstellung                                                               | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Magnesiumsilikat vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                           | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Methanol vom Hersteller zur Essigsäureherstellung                                                                    | 300                | 60             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natriumcarbonat vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                            | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natriumpolyphosphat vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                        | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natriumseife vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                               | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Natriumsulfat vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                              | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Optischer Aufheller vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                        | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Phosphonat vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                                 | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Perborat-Tetrahydrat vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                       | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Polycarboxylat vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                             | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Savinase vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                                   | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Schäumungsinhibitor vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                        | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Tetraacetylenethyldiamin vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                   | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Waschmittel nach der Konfektionierung zum Händler (1)<br>(Abbildung der durchschnittlichen Situation in Deutschland) | 360                | 70             | 40             | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |
| Zeolith vom Hersteller zur Waschmittelherstellung                                                                    | 450                | 100            | 0              | 17,5            | 51                  | 30               | 19        |

Tabelle 4-3: Parameter zur Modellierung der LKW-Transporte bei Angabe der Transportleistung

| Transport                                                               | Transport-<br>leistung<br>[tkm] | Auslastung [%] |                | Nutzlast<br>[t] | Fahrbahnanteile [%] |                  |           |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
|                                                                         |                                 | Hinfahrt       | Rück-<br>fahrt |                 | Auto-<br>bahn       | Land-<br>strasse | Innerorts |
| Ammoniak vom Hersteller zur Ethylendiaminherstellung (1)                | 0,373                           | 60             | 40             | 28              | 71                  | 21               | 8         |
| Ammoniak vom Hersteller zur Natriumcarbonatherstellung                  | 0,0505                          |                |                |                 |                     |                  |           |
| Chlor vom Hersteller zur Dichlorethanherstellung (1)                    | 0,1                             | 60             | 40             | 28              | 71                  | 21               | 8         |
| Cyanwasserstoff vom Hersteller zur Natriumcyanidherstellung (1)         | 0,104                           | 60             | 40             | 28              | 71                  | 21               | 8         |
| Dichlorethan vom Hersteller zur Ethylendiaminherstellung (1)            | 0,373                           | 60             | 40             | 28              | 71                  | 21               | 8         |
| Ethylen vom Hersteller zur Dichlorethanherstellung (1)                  | 0,1                             | 60             | 40             | 28              | 71                  | 21               | 8         |
| Ethylendiamin vom Hersteller zur Ethylendiaminessigsäureherstellung (1) | 0,104                           | 60             | 40             | 28              | 71                  | 21               | 8         |
| Formaldehyd vom Hersteller zur Ethylendiaminessigsäureherstellung (1)   | 0,104                           | 60             | 40             | 28              | 71                  | 21               | 8         |
| Kalkstein vom Hersteller zur Natriumcarbonatherstellung                 | 0,0505                          |                |                |                 |                     |                  |           |
| Methanol vom Hersteller zur Formaldehydherstellung (1)                  | 0,113                           | 60             | 40             | 20,5            | 61                  | 26               | 13        |
| Natriumchlorid vom Hersteller zur Natriumcarbonatherstellung            | 0,0505                          |                |                |                 |                     |                  |           |
| Natriumchlorid vom Hersteller zur Natriumsulfatherstellung (1)          | 0,12                            | 60             | 40             | 20,5            | 61                  | 26               | 13        |
| Natriumcyanid vom Hersteller zur Ethylendiaminessigsäureherstellung (1) | 0,104                           | 60             | 40             | 28              | 71                  | 21               | 8         |
| Natronlauge vom Hersteller zur Ethylendiaminherstellung (1)             | 0,373                           | 60             | 40             | 28              | 71                  | 21               | 8         |
| Natronlauge vom Hersteller zur Natriumcyanidherstellung (1)             | 0,104                           | 60             | 40             | 28              | 71                  | 21               | 8         |
| Schwefelsäure vom Hersteller zur Natriumsulfatherstellung (1)           | 0,12                            | 60             | 40             | 20,5            | 61                  | 26               | 13        |

Tabelle 4-4: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportentfernung

| Transport                                                                                                            | Entfernung [km] | Traktionsart | Zuggattung |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|------------|
| Ethylendiamin vom Hersteller zur Tetraacetylenethyldiamin-Herstellung (2)                                            | 330             | Diesel       | Gangzug    |
| Waschmittel nach der Konfektionierung zum Händler (2)<br>(Abbildung der durchschnittlichen Situation in Deutschland) | 300             | Diesel       | Gangzug    |

Tabelle 4-5: Parameter zur Modellierung der Bahn-Transporte bei Angabe der Transportleistung

| Transport                                                                 | Transportleistung [tkm] | Traktionsart | Zuggattung  |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|-------------|
| Ammoniak vom Hersteller zur Ethylendiaminherstellung (2)                  | 2,24                    | Diesel       | Einzelwagen |
| Chlor vom Hersteller zur Dichlorethanherstellung (2)                      | 0,6                     | Diesel       | Einzelwagen |
| Cyanwasserstoff vom Hersteller zur Natriumcyanidherstellung (2)           | 0,625                   | Diesel       | Einzelwagen |
| Dichlorethan vom Hersteller zur Ethylendiaminherstellung (2)              | 2,24                    | Diesel       | Einzelwagen |
| Ethylen vom Hersteller zur Dichlorethanherstellung (2)                    | 0,6                     | Diesel       | Einzelwagen |
| Ethylendiamin vom Hersteller zur Ethylendiamininessigsäureherstellung (2) | 0,625                   | Diesel       | Einzelwagen |
| Formaldehyd vom Hersteller zur Ethylendiamininessigsäureherstellung (2)   | 0,625                   | Diesel       | Einzelwagen |
| Methanol vom Hersteller zur Formaldehydherstellung (2)                    | 0,677                   | Diesel       | Einzelwagen |
| Natriumchlorid vom Hersteller zur Natriumsulfatherstellung (2)            | 0,721                   | Diesel       | Einzelwagen |
| Natriumcyanid vom Hersteller zur Ethylendiamininessigsäureherstellung (2) | 0,625                   | Diesel       | Einzelwagen |
| Natronlauge vom Hersteller zur Ethylendiaminherstellung (2)               | 2,24                    | Diesel       | Einzelwagen |
| Natronlauge vom Hersteller zur Natriumcyanidherstellung (2)               | 0,625                   | Diesel       | Einzelwagen |
| Schwefelsäure vom Hersteller zur Natriumsulfatherstellung (2)             | 0,721                   | Diesel       | Einzelwagen |

## 4.4 Stoff- und Energiebilanzen (Sachbilanz)

Tabelle 4-6: Szenario MODERNES WASCHMITTEL - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme)

| Input                                          |             | Output                               |                         |
|------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Abfälle                                        |             | Abfälle                              |                         |
| Abfälle zur Verwertung                         |             | Abfälle zur Beseitigung              |                         |
| Metalle                                        |             | Abfälle aus chem. Industrie, inert   | 1,24E-03 kg             |
| Schrott (Eisen)                                | 4,05E-05 kg | Abfälle aus REA                      | 4,13E-05 kg             |
| Schrott (NE)                                   | 7,56E-09 kg | Abfälle zur Verbrennung              | 3,52E-08 kg             |
| Chemische Grundstoffe                          |             | Abfälle, hausmüllähnlich             | 6,29E-06 kg             |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                      |             | Abfälle, unspezifiziert              | 1,14E-03 kg             |
| Ammoniumhydroxid                               | 4,16E-06 kg | Abraum                               | 2,50E+00 kg             |
| Bor                                            | 1,88E-03 kg | Aschen u. Schlacken                  | 5,89E-04 kg             |
| Kalium                                         | 2,47E-08 kg | Klärschlamm                          | 2,96E-08 kg             |
| Natriumhydroxid                                | 1,08E-06 kg | Kunststoffe, unspez.                 | 3,08E-04 kg             |
| Phosphate (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 6,38E-11 kg | Papier, Pappe                        | 1,82E-30 kg             |
| Sauerstoff                                     | 8,93E-09 kg | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 4,47E-09 m <sup>3</sup> |
| Schwefeldioxid                                 | 1,66E-04 kg | Sonderabfall                         | 4,33E-04 kg             |
| Schwefelsäure                                  | 9,73E-09 kg | Sondermüll                           | 4,27E-10 kg             |
| Stickstoff                                     | 6,83E-06 kg | Untertagedeponiegut                  | 1,08E-06 kg             |
| Wasserstoff                                    | 2,83E-05 kg | Abfälle zur Verwertung               |                         |
| Emissionen (Luft)                              |             | Altöl                                | 4,91E-04 kg             |
| Verbindungen, anorg. (L)                       |             | Aschen u. Schlacken                  | 1,41E-03 kg             |
| Kohlendioxid (L)                               |             | Filterstaub                          | 1,89E-03 kg             |
| Kohlendioxid, regenerativ (L)                  | 1,85E-07 kg | Gips (REA)                           | 6,55E-03 kg             |
| Energieträger, sekundär                        |             | Grobasche                            | 2,83E-04 kg             |
| Brennstoffe, fest/flüssig                      |             | Industrieabfall                      | 1,99E-04 kg             |
| Biomasse (kg)                                  | 1,68E-08 kg | Metalle                              |                         |
| Koks (HOK)                                     | 1,04E-05 kg | Metalle, unspez.                     | 3,52E-09 kg             |
| Feinchemikalien                                |             | Schrott (Eisen)                      | 1,39E-04 kg             |
| Fällungsmittel                                 | 3,11E-06 kg | Weißblech                            | 5,63E-05 kg             |
| Tenside                                        |             | Mineralische Abfälle                 | 1,02E-02 kg             |
| Phosphonat                                     | 3,75E-03 kg | Natriumsulfat                        | 6,20E-05 kg             |
| Schäumungsinhibitor                            | 5,23E-03 kg | Organik                              |                         |
| Holz- und Zellstoffe                           |             | Klärschlamm                          | 1,50E-04 kg             |
| Holz                                           |             | Klärschlamm, 20 % TS                 | 2,54E-01 kg             |
| Holz, unspez.                                  | 3,11E-05 kg | Schmelzkammergranulat                | 2,37E-03 kg             |
| Kumulierter Energieaufwand                     |             | Wertstoffe, gemischt                 | 1,67E-08 kg             |
| KEA (Kernenergie)                              | 3,47E+03 kJ | Wirbelschichtasche                   | 1,89E-04 kg             |
| KEA (Wasserkraft)                              | 5,41E+01 kJ | Abfälle, unspezifiziert              | 4,80E-05 kg             |
| KEA gesamt                                     | 1,72E+03 kJ | Chemische Grundstoffe                |                         |
| KEA, fossil gesamt                             | 7,86E+03 kJ | Chem. Grundstoffe, org.              |                         |
| KEA, regenerativ                               | 1,22E+00 kJ | Essigsäure                           | 4,45E-03 kg             |
| KEA, sonst. regenerative                       | 3,38E+02 kJ | Emissionen (Boden)                   |                         |
| KEA, sonstige                                  | 4,28E+00 kJ | Blei (B)                             | 1,77E-10 kg             |
| KEA, unspez.                                   | 2,73E+01 kJ | Cadmium (B)                          | 4,82E-11 kg             |

| Input                           |                         | Output                          |                          |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Kunststoffe                     |                         | Chlor (B)                       | 5,15E-06 kg              |
| Kunststoffhalbezeug             |                         | Kupfer (B)                      | 1,77E-09 kg              |
| Kunststoff (Verpackung)         | 3,08E-04 kg             | Nickel (B)                      | 2,25E-09 kg              |
| Metalle                         |                         | Quecksilber (B)                 | 1,07E-11 kg              |
| FE-Metalle                      |                         | Schwefel (B)                    | 9,65E-10 kg              |
| Weißblech                       | 5,63E-05 kg             | Emissionen (Luft)               |                          |
| NE-Metalle                      |                         | Abgas (trocken Normvolumen) (L) | 2,08E-02 Nm <sup>3</sup> |
| Chrom                           | 4,52E-14 kg             | Abwärme (L)                     | 5,02E+03 kJ              |
| Kupfer                          | 4,28E-08 kg             | Deponiegas, diffus (L)          | 1,04E-03 m <sup>3</sup>  |
| Mineralien und Erze             |                         | Partikel (L)                    | 7,68E-06 kg              |
| Calciumhydroxid                 | 7,68E-05 kg             | Staub (>PM10) (L)               | 8,99E-06 kg              |
| Kalkstein                       | 1,60E-07 kg             | Staub (L)                       | 7,78E-04 kg              |
| Schwefel                        | 1,18E-08 kg             | Staub (PM10) (L)                | 2,00E-05 kg              |
| Naturraum                       |                         | Verbindungen, anorg. (L)        |                          |
| Fläche K7 (BRD)                 | 3,87E-07 m <sup>2</sup> | Ammoniak (L)                    | 2,28E-05 kg              |
| Fläche, un spez.                | 4,04E-07 kg             | Chlor (L)                       | 1,61E-07 kg              |
| Papier, Karton                  |                         | Chlorwasserstoff (L)            | 2,97E-05 kg              |
| Papier, Karton (Verpackung)     | 1,09E-02 kg             | Cyanwasserstoff (L)             | 1,75E-36 kg              |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL) |                         | Distickstoffmonoxid (L)         | 1,17E-05 kg              |
| Energieträger (RiL)             |                         | Fluor (L)                       | 1,59E-07 kg              |
| Erdgas (RiL)                    | 5,99E-02 kg             | Fluorwasserstoff (L)            | 3,12E-06 kg              |
| Erdöl (RiL)                     | 3,34E-02 kg             | Kohlendioxid (L)                |                          |
| Holz (RiL)                      | 9,69E-04 kg             | Kohlendioxid, fossil (L)        | 7,07E-01 kg              |
| Kohlen (RiL)                    |                         | Kohlendioxid, regenerativ (L)   | 2,02E-02 kg              |
| Braunkohle (RiL)                | 2,90E-01 kg             | Kohlenmonoxid (L)               | 3,75E-04 kg              |
| Kohle, un spez. (RiL)           | 3,18E-03 kg             | Metalle (L)                     |                          |
| Steinkohle (RiL)                | 8,71E-02 kg             | Antimon (L)                     | 1,03E-09 kg              |
| Uran (RiL)                      | 5,98E-05 kg             | Arsen (L)                       | 8,87E-09 kg              |
| Nichtenergieträger (RiL)        |                         | Beryllium (L)                   | 1,23E-09 kg              |
| Biomasse, un spez. (RiL)        | 1,39E-02 kg             | Blei (L)                        | 2,90E-08 kg              |
| Erze, un spez. (RiL)            | 1,32E-04 kg             | Cadmium (L)                     | 8,17E-09 kg              |
| Mineralien und Erze (RiL)       |                         | Chrom (L)                       | 3,86E-09 kg              |
| Baryt (RiL)                     | 2,69E-08 kg             | Kobalt (L)                      | 8,95E-10 kg              |
| Bauxit (RiL)                    | 2,90E-02 kg             | Kupfer (L)                      | 4,76E-08 kg              |
| Bentonit (RiL)                  | 3,76E-08 kg             | Mangan (L)                      | 6,30E-09 kg              |
| Calciumsulfat (RiL)             | 3,75E-09 kg             | Metalle, un spez. (L)           | 2,03E-07 kg              |
| Dolomit (RiL)                   | 5,52E-08 kg             | Nickel (L)                      | 2,19E-07 kg              |
| Eisenerz (RiL)                  | 8,45E-05 kg             | Quecksilber (L)                 | 1,91E-08 kg              |
| Feldspat (RiL)                  | 6,18E-37 kg             | Selen (L)                       | 7,18E-08 kg              |
| Flußspat (RiL)                  | 4,06E-07 kg             | Thallium (L)                    | 1,92E-10 kg              |
| Granit (RiL)                    | 2,30E-12 kg             | Uran (L)                        | 3,53E-09 kg              |
| Kaliumchlorid (RiL)             | 1,45E-09 kg             | Vanadium (L)                    | 9,90E-10 kg              |
| Kalkstein (RiL)                 | 2,49E-02 kg             | Zink (L)                        | 5,85E-08 kg              |
| Kies (RiL)                      | 4,65E-10 kg             | Zinn (L)                        | 3,47E-09 kg              |
| Kreide (RiL)                    | 3,56E-31 kg             | NOx (L)                         | 1,31E-03 kg              |
| Natriumchlorid (RiL)            | 1,62E-02 kg             | Radionuklide (L)                |                          |
| Olivin (RiL)                    | 1,18E-09 kg             | Radionuklide, gesamt (L)        | 3,89E+05 Bq              |

| Input                       |             | Output                             |             |
|-----------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|
| Rohphosphat (RiL)           | 1,64E-06 kg | Schwefel (L)                       | 5,34E-10 kg |
| Rutil (RiL)                 | 5,11E-31 kg | Schwefeldioxid (L)                 | 1,50E-03 kg |
| Sand (RiL)                  | 2,22E-04 kg | Schwefelkohlenstoff (L)            | 1,03E-13 kg |
| Schiefer (RiL)              | 1,06E-08 kg | Schwefelsäure (L)                  | 2,22E-16 kg |
| Steinsalz (RiL)             | 1,33E-02 kg | Schwefelwasserstoff (L)            | 1,27E-07 kg |
| Ton (RiL)                   | 9,30E-09 kg | Stickstoffdioxid (L)               | 3,81E-04 kg |
| Mineralien, un spez. (RiL)  | 2,09E-02 kg | Sulfat (L)                         | 9,32E-06 kg |
| Rohstoffe, elementar (RiL)  |             | Wasserstoff (L)                    | 4,80E-06 kg |
| Metalle (RiL)               |             | VOC (L)                            |             |
| Blei (Pb) (RiL)             | 2,69E-08 kg | Kohlenwasserstoffe, un spez. (L)   | 1,47E-04 kg |
| Eisen (Fe) (RiL)            | 2,28E-06 kg | Methan (L)                         | 1,79E-03 kg |
| Ferromangan (RiL)           | 1,15E-10 kg | Methan, fossil (L)                 | 3,69E-05 kg |
| Magnesium (Mg) (RiL)        | 8,04E-06 kg | NM VOC (L)                         |             |
| Nickel (Ni) (RiL)           | 1,04E-14 kg | NM VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)    | 8,92E-08 kg |
| Zink (Zn) (RiL)             | 1,43E-12 kg | NM VOC, arom., un spez. (L)        | 1,49E-06 kg |
| Schwefel (RiL)              | 2,71E-03 kg | NM VOC, halog. (L)                 |             |
| Stoffe, diverse             |             | NM VOC, chlor. (L)                 |             |
| Betriebsstoffe              |             | NM VOC, chlor, aliph. (L)          |             |
| Aktivkohle                  | 8,76E-09 kg | Dichlorethan (L)                   | 3,74E-06 kg |
| C-Donator                   | 7,67E-08 kg | Dichlorethen (L)                   | 2,85E-17 kg |
| Eisen(III)-chlorid          | 1,10E-08 kg | Vinylchlorid (L)                   | 1,51E-17 kg |
| Kalkmilch                   | 8,76E-08 kg | NM VOC, chlor, arom. (L)           |             |
| Natronlauge                 | 1,63E-07 kg | Chlorbenzole (L)                   | 1,04E-12 kg |
| P-Donator                   | 3,29E-09 kg | Chlorphenole (L)                   | 2,08E-12 kg |
| Reinigungschemikalien       | 4,27E-08 kg | PCB (L)                            | 7,82E-13 kg |
| Hilfsstoffe                 |             | PCDD, PCDF (L)                     | 1,01E-13 kg |
| Hilfsmittel, un spez.       | 8,29E-05 kg | NM VOC, chlor., un spez. (L)       | 5,58E-07 kg |
| Hilfsstoffe, un spez.       | 2,59E-07 kg | NM VOC, fluor. (L)                 |             |
| Luft                        | 4,24E-05 kg | Halon 1301 (L)                     | 1,66E-09 kg |
| Sekundärrohstoffe, un spez. | 1,97E-08 kg | Hexafluorethan (L)                 | 1,08E-14 kg |
| Wäsche                      | 5,00E+00 kg | NM VOC, fluor., un spez. (L)       | 7,29E-11 kg |
| Wasser                      |             | Perfluorethan (L)                  | 2,47E-11 kg |
| Brauch-/Trinkwasser         |             | Perfluormethan (L)                 | 2,72E-11 kg |
| Kühlwasser                  | 1,94E+02 kg | NM VOC, halog., un spez. (L)       | 1,04E-11 kg |
| Waschwasser                 | 2,31E-01 kg | NM VOC, nichthalog. (L)            |             |
| Wasser                      | 5,40E+01 kg | Akhole (L)                         |             |
| Wasser (Kesselspeise)       | 4,83E+01 kg | Methanol (L)                       | 1,86E-05 kg |
| Wasser (Prozess)            | 7,97E-01 kg | Aldehyde (L)                       |             |
| Wasser, entkarbonisiert     | 1,14E-03 kg | Aldehyde, un spez. (L)             | 7,78E-07 kg |
| Wasser, un spez.            | 5,23E-01 kg | Formaldehyd (L)                    | 2,17E-06 kg |
|                             |             | Alkane (L)                         |             |
|                             |             | Hexan (L)                          | 9,65E-08 kg |
|                             |             | andere S (und O)-haltige Verb. (L) |             |
|                             |             | Mercaptane (L)                     | 4,30E-07 kg |
|                             |             | Aromatische Verbindungen (L)       |             |
|                             |             | aromatische KW (L)                 |             |
|                             |             | Benzol (L)                         | 8,82E-07 kg |

| Input | Output                                   |
|-------|------------------------------------------|
|       | Ether/Säuren (L)                         |
|       | Essigsäure (L) 3,70E-05 kg               |
|       | PAK (L)                                  |
|       | Benzo(a)pyren (L) 5,81E-11 kg            |
|       | PAK ohne B(a)P (L) 1,22E-08 kg           |
|       | PAK, unspez. (L) 2,86E-37 kg             |
|       | NMVOC, unspez. (L) 2,55E-04 kg           |
|       | Stoffe, org., unspez. (L) 2,89E-10 kg    |
|       | TOC (L) 2,08E-08 kg                      |
|       | VOC (Kohlenwasserstoffe) (L) 4,23E-04 kg |
|       | VOC, unspez. (L) 5,89E-06 kg             |
|       | Emissionen (Wasser)                      |
|       | Emissionen (W)                           |
|       | Abwärme (W) 1,11E+03 kJ                  |
|       | Chemikalien, unspez. (W) 1,64E-06 kg     |
|       | Feststoffe, gelöst (W) 1,84E-04 kg       |
|       | Feststoffe, suspendiert (W) 3,90E-04 kg  |
|       | Verbindungen, anorganisch (W)            |
|       | Bor (W) 5,90E-05 kg                      |
|       | Carbonat (W) 3,83E-08 kg                 |
|       | Chlor (W) 7,18E-07 kg                    |
|       | Chlor, gelöst (W) 5,35E-13 kg            |
|       | Chlorat (W) 1,37E-06 kg                  |
|       | Chlorid (W) 4,39E-03 kg                  |
|       | Cyanid (W) 2,17E-09 kg                   |
|       | Fluor (W) 6,67E-09 kg                    |
|       | Fluorid (W) 2,72E-05 kg                  |
|       | Metalle (W)                              |
|       | Aluminium (W) 9,91E-05 kg                |
|       | Antimon (W) 6,32E-12 kg                  |
|       | Arsen (W) 1,79E-08 kg                    |
|       | Barium (W) 1,48E-06 kg                   |
|       | Beryllium (W) 1,44E-10 kg                |
|       | Blei (W) 3,68E-07 kg                     |
|       | Cadmium (W) 2,39E-09 kg                  |
|       | Calcium (W) 5,13E-04 kg                  |
|       | Chrom (W) 2,01E-07 kg                    |
|       | Chrom-(VI)-oxid (W) (W) 5,44E-14 kg      |
|       | Cobalt (W) 3,46E-11 kg                   |
|       | Eisen (W) 1,77E-05 kg                    |
|       | Kalium (W) 4,29E-11 kg                   |
|       | Kobalt (W) 1,74E-14 kg                   |
|       | Kupfer (W) 5,35E-08 kg                   |
|       | Magnesium (W) 9,58E-12 kg                |
|       | Mangan (W) 4,80E-07 kg                   |
|       | Metalle, unspez. (W) 5,96E-06 kg         |
|       | Molybdän (W) 5,97E-08 kg                 |

| Input | Output                                                         |
|-------|----------------------------------------------------------------|
|       | Natrium (W) 9,91E-04 kg                                        |
|       | Nickel (W) 7,70E-08 kg                                         |
|       | Quecksilber (W) 6,16E-10 kg                                    |
|       | Selen (W) 1,78E-08 kg                                          |
|       | Uran (W) 7,92E-08 kg                                           |
|       | Vanadium (W) 4,61E-08 kg                                       |
|       | Zink (W) 1,19E-07 kg                                           |
|       | Zinn (W) 3,50E-11 kg                                           |
|       | Phosphat (W) 2,82E-06 kg                                       |
|       | Phosphate (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (W) 2,25E-07 kg |
|       | Phosphor (W) 2,67E-07 kg                                       |
|       | Phosphorverbind. als P (W) 1,60E-09 kg                         |
|       | Radionuklide (W)                                               |
|       | Radionuklide, gesamt (W) 2,11E+03 kBq                          |
|       | Salze, anorg. (W) 5,10E-04 kg                                  |
|       | Säuren als H(+) (W) 1,18E-06 kg                                |
|       | Säuren, unspez. (W) 1,59E-03 kg                                |
|       | Schwefel (W) 4,37E-10 kg                                       |
|       | Stickstoffverbindungen (W)                                     |
|       | Ammoniak (W) 2,40E-07 kg                                       |
|       | Ammonium (W) 1,19E-05 kg                                       |
|       | Nitrat (W) 6,09E-05 kg                                         |
|       | Salpetersäure (W) 1,12E-08 kg                                  |
|       | Stickstoffverb., unspez. (W) 7,35E-05 kg                       |
|       | Stickstoffverbind. als N (W) 1,17E-05 kg                       |
|       | Sulfat (W) 1,02E-03 kg                                         |
|       | Sulfid (W) 1,20E-05 kg                                         |
|       | Verbindungen, organisch (W)                                    |
|       | Detergenzien, Öl (W) 6,35E-08 kg                               |
|       | halog. org. Verbindungen (W)                                   |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)                                   |
|       | chlor. Verbindungen, aliphatic (W)                             |
|       | Dichlorethan (W) 8,96E-06 kg                                   |
|       | Dichlorethen (W) 4,54E-20 kg                                   |
|       | Vinylchlorid (W) 6,66E-34 kg                                   |
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)                               |
|       | NMVOC, aromat., unspez. (W) 3,28E-07 kg                        |
|       | PCB (W) 8,55E-14 kg                                            |
|       | Verbindungen, org., chlor., unspez. (W) 6,76E-10 kg            |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)                              |
|       | KW (W)                                                         |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W) 1,11E-06 kg                    |
|       | Toluol (W) 1,25E-06 kg                                         |
|       | Öl (W) 2,80E-14 kg                                             |
|       | PAK (W)                                                        |
|       | Benzo(a)pyren (W) 4,94E-15 kg                                  |
|       | PAK ohne B(a)P (W) 1,16E-14 kg                                 |

| Input | Output                                                           |
|-------|------------------------------------------------------------------|
|       | PAK, un spez. (W) 4,53E-09 kg                                    |
|       | Phenole (W) 2,31E-07 kg                                          |
|       | Verbindungen, org., gelöst (W) 1,79E-08 kg                       |
|       | Verbindungen, org., un spez. (W) 2,23E-09 kg                     |
|       | Fette und Öle, gesamt (W) 9,77E-06 kg                            |
|       | Indikatorparameter                                               |
|       | AOX (W) 2,09E-06 kg                                              |
|       | BSB-5 (W) 2,89E-04 kg                                            |
|       | CSB (W) 5,41E-03 kg                                              |
|       | DOC (W) 2,86E-05 kg                                              |
|       | TOC (W) 6,26E-05 kg                                              |
|       | Sickerwasser, diffus (W) 2,46E-05 kg                             |
|       | Wasserstoffperoxid (W) 2,68E-05 kg                               |
|       | Energieträger, sekundär                                          |
|       | Energie, elektrisch 5,93E+00 kJ                                  |
|       | Energie, thermisch 1,25E+01 kJ                                   |
|       | Feinchemikalien                                                  |
|       | Dünger                                                           |
|       | Dünger (CaCO <sub>3</sub> ) 4,66E-06 kg                          |
|       | Dünger (K) 4,02E-06 kg                                           |
|       | Dünger (Mg) 5,36E-07 kg                                          |
|       | Dünger (N) 4,72E-06 kg                                           |
|       | Dünger (Na) 6,27E-06 kg                                          |
|       | Dünger (P) 1,77E-06 kg                                           |
|       | Ledergerbung                                                     |
|       | Energiegutschrift, Methanol 6,58E+01 kJ                          |
|       | Mineralien                                                       |
|       | Gips (REA) 1,85E-07 kg                                           |
|       | Naturraum                                                        |
|       | Deponievolumen 1,13E-05 m <sup>3</sup>                           |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert 3,44E-09 m <sup>3</sup>   |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert 9,61E-10 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel. 5,23E-09 m <sup>3</sup>    |
|       | Stoffe, diverse                                                  |
|       | Wäsche 5,00E+00 kg                                               |
|       | Wasser                                                           |
|       | Abwasser                                                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung) 4,83E+01 kg                        |
|       | Abwasser (Kühlwasser) 7,13E+01 kg                                |
|       | Abwasser (Prozess) 6,96E-01 kg                                   |
|       | Abwasser (Waschwasser) 2,31E-01 kg                               |
|       | Abwasser, geklärt 5,38E+01 kg                                    |
|       | Abwasser, un spez. 2,69E-01 kg                                   |
|       | Sickerwasser, diffus 9,55E-05 kg                                 |
|       | Sickerwasser, gefaßt 1,94E-05 kg                                 |
|       | Wasserdampf 1,22E+02 kg                                          |

Tabelle 4-7: Szenario MODERNES WASCHMITTEL - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme)

| Input                           |             | Output                               |                         |
|---------------------------------|-------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Energieträger, sekundär         |             | Abfälle                              |                         |
| Energie, elektrisch             | 5,93E+00 kJ | Abfälle zur Beseitigung              |                         |
| Energie, thermisch              | 1,25E+01 kJ | Abfälle aus REA                      | 6,13E-07 kg             |
| Kumulierter Energieaufwand      |             | Abraum                               | 6,80E-03 kg             |
| KEA (Kernenergie)               | 8,18E+00 kJ | Aschen u. Schlacken                  | 9,00E-07 kg             |
| KEA (Wasserkraft)               | 1,14E-02 kJ | Klärschlamm                          | 4,59E-08 kg             |
| KEA, fossil gesamt              | 1,13E+02 kJ | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 3,43E-15 m <sup>3</sup> |
| KEA, regenerativ                | 1,66E-01 kJ | Sonderabfall                         | 4,78E-09 kg             |
| KEA, sonst. regenerative        | 2,05E-01 kJ | Abfälle zur Verwertung               |                         |
| KEA, sonstige                   | 3,37E-01 kJ | Aschen u. Schlacken                  | 8,52E-06 kg             |
| KEA, un spez.                   | 5,92E-10 kJ | Filterstaub                          | 3,80E-06 kg             |
| Ledergerbung                    |             | Gips (REA)                           | 1,50E-05 kg             |
| Energiegutschrift, Methanol     | 6,58E+01 kJ | Grobasche                            | 5,68E-07 kg             |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL) |             | Natriumsulfat                        | 1,25E-07 kg             |
| Energieträger (RiL)             |             | Schmelzkammergranulat                | 4,76E-06 kg             |
| Erdgas (RiL)                    | 2,34E-03 kg | Wirbelschichtasche                   | 3,80E-07 kg             |
| Erdöl (RiL)                     | 7,18E-05 kg | Abfälle, unspezifiziert              | 8,80E-06 kg             |
| Kohlen (RiL)                    |             | Emissionen (Luft)                    |                         |
| Braunkohle (RiL)                | 8,57E-04 kg | Abwärme (L)                          | 1,01E+01 kJ             |
| Steinkohle (RiL)                | 2,99E-04 kg | Staub (>PM10) (L)                    | 1,54E-08 kg             |
| Uran (RiL)                      | 1,17E-08 kg | Staub (L)                            | 3,93E-07 kg             |
| Nichtenergieträger (RiL)        |             | Staub (PM10) (L)                     | 3,61E-08 kg             |
| Mineralien und Erze (RiL)       |             | Verbindungen, anorg. (L)             |                         |
| Kalkstein (RiL)                 | 2,35E-05 kg | Ammoniak (L)                         | 9,84E-09 kg             |
| Natriumchlorid (RiL)            | 1,26E-07 kg | Chlorwasserstoff (L)                 | 2,13E-07 kg             |
| Sand (RiL)                      | 4,44E-07 kg | Distickstoffmonoxid (L)              | 2,65E-07 kg             |
| Rohstoffe, elementar (RiL)      |             | Fluor (L)                            | 1,53E-13 kg             |
| Schwefel (RiL)                  | 8,25E-08 kg | Fluorwasserstoff (L)                 | 1,40E-08 kg             |
| Wasser                          |             | Kohlendioxid (L)                     |                         |
| Brauch-/Trinkwasser             |             | Kohlendioxid, fossil (L)             | 6,66E-03 kg             |
| Kühlwasser                      | 3,87E-01 kg | Kohlenmonoxid (L)                    | 3,59E-06 kg             |
| Wasser (Kesselspeise)           | 9,71E-02 kg | Metalle (L)                          |                         |
| Wasser (Prozess)                | 1,69E-04 kg | Antimon (L)                          | 2,07E-12 kg             |
| Wasser, un spez.                | 1,95E-05 kg | Arsen (L)                            | 1,83E-11 kg             |
|                                 |             | Beryllium (L)                        | 2,47E-12 kg             |
|                                 |             | Blei (L)                             | 2,68E-11 kg             |
|                                 |             | Cadmium (L)                          | 4,29E-12 kg             |
|                                 |             | Chrom (L)                            | 8,29E-12 kg             |
|                                 |             | Kobalt (L)                           | 1,79E-12 kg             |
|                                 |             | Kupfer (L)                           | 9,25E-12 kg             |
|                                 |             | Mangan (L)                           | 8,99E-12 kg             |
|                                 |             | Nickel (L)                           | 1,56E-10 kg             |
|                                 |             | Quecksilber (L)                      | 2,43E-11 kg             |
|                                 |             | Selen (L)                            | 1,44E-10 kg             |

| Input | Output                        |
|-------|-------------------------------|
|       | Thallium (L)                  |
|       | 3,84E-13 kg                   |
|       | Uran (L)                      |
|       | 7,09E-12 kg                   |
|       | Vanadium (L)                  |
|       | 1,99E-12 kg                   |
|       | Zink (L)                      |
|       | 6,75E-11 kg                   |
|       | Zinn (L)                      |
|       | 6,95E-12 kg                   |
|       | NOx (L)                       |
|       | 9,60E-06 kg                   |
|       | Radionuklide (L)              |
|       | Radionuklide, gesamt (L)      |
|       | 7,13E+02 Bq                   |
|       | Schwefel (L)                  |
|       | 1,07E-12 kg                   |
|       | Schwefeldioxid (L)            |
|       | 2,83E-06 kg                   |
|       | Schwefelwasserstoff (L)       |
|       | 1,85E-10 kg                   |
|       | VOC (L)                       |
|       | Methan (L)                    |
|       | 2,79E-05 kg                   |
|       | NMVOC (L)                     |
|       | NMVOC, halog. (L)             |
|       | NMVOC, chlor. (L)             |
|       | NMVOC, chlor, aromat. (L)     |
|       | Chlorbenzole (L)              |
|       | 1,22E-19 kg                   |
|       | Chlorphenole (L)              |
|       | 2,45E-19 kg                   |
|       | PCB (L)                       |
|       | 1,22E-21 kg                   |
|       | PCDD, PCDF (L)                |
|       | 2,18E-17 kg                   |
|       | NMVOC, fluor. (L)             |
|       | Perfluorethan (L)             |
|       | 5,47E-14 kg                   |
|       | Perfluormethan (L)            |
|       | 9,48E-14 kg                   |
|       | NMVOC, nichthalog. (L)        |
|       | Aldehyde (L)                  |
|       | Formaldehyd (L)               |
|       | 5,40E-11 kg                   |
|       | Alkane (L)                    |
|       | Hexan (L)                     |
|       | 1,94E-10 kg                   |
|       | Aromatische Verbindungen (L)  |
|       | aromatische KW (L)            |
|       | Benzol (L)                    |
|       | 8,31E-11 kg                   |
|       | PAK (L)                       |
|       | Benzo(a)anthrazen (L)         |
|       | 2,55E-15 kg                   |
|       | Benzo(a)pyren (L)             |
|       | 3,84E-14 kg                   |
|       | PAK ohne B(a)P (L)            |
|       | 1,14E-11 kg                   |
|       | NMVOC, un spez. (L)           |
|       | 9,90E-07 kg                   |
|       | VOC, un spez. (L)             |
|       | 2,22E-11 kg                   |
|       | Emissionen (Wasser)           |
|       | Emissionen (W)                |
|       | Abwärme (W)                   |
|       | 2,22E+00 kJ                   |
|       | Verbindungen, anorganisch (W) |
|       | Bor (W)                       |
|       | 1,34E-13 kg                   |
|       | Chlor (W)                     |
|       | 1,44E-09 kg                   |
|       | Chlorid (W)                   |
|       | 8,97E-08 kg                   |
|       | Cyanid (W)                    |
|       | 1,26E-13 kg                   |
|       | Fluor (W)                     |
|       | 1,34E-11 kg                   |

| Input | Output                                      |
|-------|---------------------------------------------|
|       | Fluorid (W) 2,18E-10 kg                     |
|       | Metalle (W)                                 |
|       | Aluminium (W) 3,70E-11 kg                   |
|       | Antimon (W) 1,65E-15 kg                     |
|       | Arsen (W) 4,61E-12 kg                       |
|       | Barium (W) 2,19E-11 kg                      |
|       | Beryllium (W) 2,89E-13 kg                   |
|       | Blei (W) 4,93E-10 kg                        |
|       | Cadmium (W) 1,16E-12 kg                     |
|       | Chrom (W) 2,01E-11 kg                       |
|       | Cobalt (W) 6,95E-14 kg                      |
|       | Kupfer (W) 4,65E-12 kg                      |
|       | Mangan (W) 9,65E-10 kg                      |
|       | Molybdän (W) 1,20E-10 kg                    |
|       | Nickel (W) 9,96E-12 kg                      |
|       | Quecksilber (W) 2,09E-14 kg                 |
|       | Selen (W) 3,58E-11 kg                       |
|       | Uran (W) 1,59E-10 kg                        |
|       | Vanadium (W) 9,26E-11 kg                    |
|       | Zink (W) 2,86E-11 kg                        |
|       | Zinn (W) 7,04E-14 kg                        |
|       | Phosphorverbind. als P (W) 3,04E-12 kg      |
|       | Radionuklide (W)                            |
|       | Radionuklide, gesamt (W) 4,24E+00 kBq       |
|       | Salze, anorg. (W) 1,76E-12 kg               |
|       | Stickstoffverbindungen (W)                  |
|       | Ammoniak (W) 4,82E-10 kg                    |
|       | Ammonium (W) 1,86E-09 kg                    |
|       | Nitrat (W) 2,68E-10 kg                      |
|       | Salpetersäure (W) 2,25E-11 kg               |
|       | Stickstoffverbind. als N (W) 5,02E-11 kg    |
|       | Sulfat (W) 1,00E-06 kg                      |
|       | Sulfid (W) 1,47E-12 kg                      |
|       | Verbindungen, organisch (W)                 |
|       | halog. org. Verbindungen (W)                |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)                |
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)            |
|       | PCB (W) 1,62E-16 kg                         |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)           |
|       | KW (W)                                      |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W) 1,52E-12 kg |
|       | Öl (W) 5,62E-17 kg                          |
|       | PAK (W)                                     |
|       | Benzo(a)pyren (W) 9,91E-18 kg               |
|       | PAK ohne B(a)P (W) 8,90E-18 kg              |
|       | Phenole (W) 1,85E-13 kg                     |
|       | Indikatorparameter                          |

| Input | Output                                   |                         |
|-------|------------------------------------------|-------------------------|
|       | AOX (W)                                  | 2,28E-13 kg             |
|       | BSB-5 (W)                                | 5,50E-11 kg             |
|       | CSB (W)                                  | 4,41E-10 kg             |
|       | TOC (W)                                  | 2,26E-09 kg             |
|       | Energieträger, sekundär                  |                         |
|       | Energie, elektrisch                      | 5,93E+00 kJ             |
|       | Energie, thermisch                       | 1,25E+01 kJ             |
|       | Import Materials                         |                         |
|       | Sondermüll                               | 1,16E-08 kg             |
|       | Ledergerbung                             |                         |
|       | Energiegutschrift, Methanol              | 6,58E+01 kJ             |
|       | Naturraum                                |                         |
|       | Deponievolumen                           | 7,07E-09 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert   | 6,92E-12 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert | 1,93E-12 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel.    | 1,05E-11 m <sup>3</sup> |
|       | Wasser                                   |                         |
|       | Abwasser                                 |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlammung)            | 9,71E-02 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                    | 1,41E-01 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                       | 1,81E-05 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                        | 1,62E-06 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                        | 2,84E-06 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus                     | 1,92E-07 kg             |
|       | Sickerwasser, gefaßt                     | 3,90E-08 kg             |
|       | Wasserdampf                              | 2,46E-01 kg             |

Tabelle 4-8: Szenario TRADITIONELLES WASCHMITTEL - Brutto-Ergebnis (aggregiert über alle Teilsysteme)

| Input                                          |             | Output                               |                          |
|------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Abfälle                                        |             | Abfälle                              |                          |
| Abfälle zur Verwertung                         |             | Abfälle zur Beseitigung              |                          |
| Abfallsäure, FeCl <sub>2</sub>                 | 1,56E-01 kg | Abfälle aus chem. Industrie, inert   | 1,08E-03 kg              |
| Eisenschrott                                   | 1,29E-02 kg | Abfälle aus REA                      | 1,09E-06 kg              |
| Metalle                                        |             | Abfälle zur Verbrennung              | 2,19E-09 kg              |
| Schrott (Eisen)                                | 5,18E-07 kg | Abfälle, hausmüllähnlich             | 4,00E-05 kg              |
| Schrott (NE)                                   | 2,13E-10 kg | Abfälle, unspezifiziert              | 1,28E+00 kg              |
| Chemische Grundstoffe                          |             | Abraum                               | 5,51E+00 kg              |
| Chem. Grundstoffe, anorg.                      |             | Aschen u. Schlacken                  | 6,35E-04 kg              |
| Ammoniumhydroxid                               | 5,28E-06 kg | Eisenhydroxidschlamm                 | 1,49E-03 kg              |
| Bor                                            | 2,46E-03 kg | Klärschlamm                          | 1,20E-08 kg              |
| Kalium                                         | 3,25E-08 kg | Kunststoffe, unspez.                 | 4,05E-04 kg              |
| Natriumhydroxid                                | 1,97E-06 kg | Papier, Pappe                        | 1,01E-31 kg              |
| Phosphate (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 6,61E-07 kg | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 1,18E-10 m <sup>3</sup>  |
| Sauerstoff                                     | 1,08E-05 kg | Sonderabfall                         | 2,29E-05 kg              |
| Schwefeldioxid                                 | 4,71E-02 kg | Sondermüll                           | 5,41E-10 kg              |
| Schwefelsäure                                  | 1,47E-08 kg | Untertagedeponiegut                  | 1,37E-06 kg              |
| Stickstoff                                     | 6,40E-07 kg | Abfälle zur Verwertung               |                          |
| Wasserstoff                                    | 1,82E-05 kg | Altöl                                | 1,74E-05 kg              |
| Emissionen (Luft)                              |             | Aschen u. Schlacken                  | 1,66E-03 kg              |
| Verbindungen, anorg. (L)                       |             | Filterstaub                          | 4,20E-03 kg              |
| Kohlendioxid (L)                               |             | Gips (REA)                           | 1,45E-02 kg              |
| Kohlendioxid, regenerativ (L)                  | 3,04E-07 kg | Grobasche                            | 6,27E-04 kg              |
| Energieträger, sekundär                        |             | Industrieabfall                      | 1,73E-02 kg              |
| Brennstoffe, fest/flüssig                      |             | Metalle                              |                          |
| Biomasse (kg)                                  | 2,23E-10 kg | Metalle, unspez.                     | 5,06E-09 kg              |
| Koks (HOK)                                     | 1,32E-05 kg | Schrott (Eisen)                      | 1,76E-04 kg              |
| Feinchemikalien                                |             | Weißblech                            | 7,39E-05 kg              |
| Fällungsmittel                                 | 3,94E-06 kg | Mineralische Abfälle                 | 2,26E-02 kg              |
| Holz- und Zellstoffe                           |             | Natriumsulfat                        | 1,38E-04 kg              |
| Holz                                           |             | Organik                              |                          |
| Holz, unspez.                                  | 3,87E-05 kg | Klärschlamm, 20 % TS                 | 2,38E-01 kg              |
| Kumulierter Energieaufwand                     |             | Schmelzkammergranulat                | 5,26E-03 kg              |
| KEA (Kernenergie)                              | 7,79E+03 kJ | Wertstoffe, gemischt                 | 9,57E-10 kg              |
| KEA (Wasserkraft)                              | 9,24E+01 kJ | Wirbelschichtasche                   | 4,20E-04 kg              |
| KEA gesamt                                     | 3,02E+03 kJ | Abfälle, unspezifiziert              | 8,03E-07 kg              |
| KEA, fossil gesamt                             | 1,42E+04 kJ | Emissionen (Luft)                    |                          |
| KEA, regenerativ                               | 2,30E-02 kJ | Abgas (trocken Normvolumen) (L)      | 2,64E-02 Nm <sup>3</sup> |
| KEA, sonst. regenerative                       | 4,57E+02 kJ | Abwärme (L)                          | 1,11E+04 kJ              |
| KEA, sonstige                                  | 2,70E-01 kJ | Deponiegas, diffus (L)               | 1,32E-03 m <sup>3</sup>  |
| KEA, unspez.                                   | 9,07E+00 kJ | Partikel (L)                         | 1,30E-05 kg              |
| Kunststoffe                                    |             | Staub (>PM <sub>10</sub> ) (L)       | 1,84E-05 kg              |
| Kunststoffhalbezeug                            |             | Staub (L)                            | 7,98E-04 kg              |
| Kunststoff (Verpackung)                        | 4,05E-04 kg | Staub (PM <sub>10</sub> ) (L)        | 4,19E-05 kg              |

| Input                           |                         | Output                           |             |
|---------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------|
| Metalle                         |                         | Verbindungen, anorg. (L)         |             |
| FE-Metalle                      |                         | Ammoniak (L)                     | 4,61E-05 kg |
| Weißblech                       | 7,39E-05 kg             | Chlor (L)                        | 1,57E-07 kg |
| NE-Metalle                      |                         | Chlorwasserstoff (L)             | 5,68E-05 kg |
| Chrom                           | 2,48E-15 kg             | Cyanid (L)                       | 4,24E-07 kg |
| Kupfer                          | 2,33E-09 kg             | Cyanwasserstoff (L)              | 5,32E-09 kg |
| Mineralien und Erze             |                         | Distickstoffmonoxid (L)          | 1,96E-05 kg |
| Calciumhydroxid                 | 9,73E-05 kg             | Fluor (L)                        | 1,56E-07 kg |
| Kalkstein                       | 2,90E-07 kg             | Fluorwasserstoff (L)             | 6,07E-06 kg |
| Schwefel                        | 1,24E-06 kg             | Kohlendioxid (L)                 |             |
| Naturraum                       |                         | Kohlendioxid, fossil (L)         | 1,50E+00 kg |
| Fläche K7 (BRD)                 | 4,90E-07 m <sup>2</sup> | Kohlendioxid, regenerativ (L)    | 2,11E-02 kg |
| Fläche, un spez.                | 9,27E-09 kg             | Kohlenmonoxid (L)                | 9,83E-04 kg |
| Papier, Karton                  |                         | Metalle (L)                      |             |
| Papier, Karton (Verpackung)     | 1,43E-02 kg             | Antimon (L)                      | 2,29E-09 kg |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL) |                         | Arsen (L)                        | 1,95E-08 kg |
| Energieträger (RiL)             |                         | Beryllium (L)                    | 2,73E-09 kg |
| Erdgas (RiL)                    | 6,96E-02 kg             | Blei (L)                         | 6,61E-08 kg |
| Erdöl (RiL)                     | 5,07E-02 kg             | Cadmium (L)                      | 1,76E-08 kg |
| Holz (RiL)                      | 1,06E-03 kg             | Chrom (L)                        | 8,30E-09 kg |
| Kohlen (RiL)                    |                         | Kobalt (L)                       | 1,98E-09 kg |
| Braunkohle (RiL)                | 6,34E-01 kg             | Kupfer (L)                       | 1,27E-08 kg |
| Kohle, un spez. (RiL)           | 2,77E-03 kg             | Mangan (L)                       | 1,45E-08 kg |
| Steinkohle (RiL)                | 2,07E-01 kg             | Metalle, un spez. (L)            | 2,44E-07 kg |
| Uran (RiL)                      | 6,20E-05 kg             | Nickel (L)                       | 5,07E-07 kg |
| Nichtenergieträger (RiL)        |                         | Quecksilber (L)                  | 3,43E-08 kg |
| Biomasse, un spez. (RiL)        | 1,39E-02 kg             | Selen (L)                        | 1,59E-07 kg |
| Erze, un spez. (RiL)            | 1,69E-06 kg             | Thallium (L)                     | 4,25E-10 kg |
| Mineralien und Erze (RiL)       |                         | Uran (L)                         | 7,84E-09 kg |
| Baryt (RiL)                     | 3,54E-08 kg             | Vanadium (L)                     | 2,20E-09 kg |
| Bauxit (RiL)                    | 1,07E-04 kg             | Zink (L)                         | 1,20E-07 kg |
| Bentonit (RiL)                  | 2,15E-09 kg             | Zinn (L)                         | 7,69E-09 kg |
| Calciumsulfat (RiL)             | 2,14E-10 kg             | NOx (L)                          | 2,49E-03 kg |
| Dolomit (RiL)                   | 7,06E-08 kg             | Radionuklide (L)                 |             |
| Eisenerz (RiL)                  | 1,13E-04 kg             | Radionuklide, gesamt (L)         | 8,27E+05 Bq |
| Feldspat (RiL)                  | 3,42E-38 kg             | Schwefel (L)                     | 1,18E-09 kg |
| Flußspat (RiL)                  | 5,30E-07 kg             | Schwefeldioxid (L)               | 3,39E-03 kg |
| Granit (RiL)                    | 9,81E-12 kg             | Schwefelkohlenstoff (L)          | 5,78E-15 kg |
| Kaliumchlorid (RiL)             | 1,33E-08 kg             | Schwefelsäure (L)                | 9,19E-16 kg |
| Kalkstein (RiL)                 | 1,03E-01 kg             | Schwefelwasserstoff (L)          | 1,58E-07 kg |
| Kies (RiL)                      | 7,07E-11 kg             | Stickstoffdioxid (L)             | 7,07E-04 kg |
| Kreide (RiL)                    | 1,99E-32 kg             | Sulfat (L)                       | 3,16E-05 kg |
| Natriumchlorid (RiL)            | 5,45E-02 kg             | Wasserstoff (L)                  | 3,45E-06 kg |
| Olivin (RiL)                    | 1,80E-10 kg             | VOC (L)                          |             |
| Rohphosphat (RiL)               | 1,44E-01 kg             | Kohlenwasserstoffe, un spez. (L) | 1,93E-04 kg |
| Rutil (RiL)                     | 2,85E-32 kg             | Methan (L)                       | 3,11E-03 kg |
| Sand (RiL)                      | 4,99E-04 kg             | NMVOC (L)                        |             |

| Input                      |             | Output                             |             |
|----------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|
| Schiefer (RiL)             | 6,05E-10 kg | NMVOC (Kohlenwasserstoffe) (L)     | 8,92E-08 kg |
| Steinsalz (RiL)            | 8,32E-02 kg | NMVOC, arom., unspez. (L)          | 2,13E-06 kg |
| Ton (RiL)                  | 5,17E-10 kg | NMVOC, halog. (L)                  |             |
| Mineralien, unspez. (RiL)  | 9,29E-03 kg | NMVOC, chlor. (L)                  |             |
| Rohstoffe, elementar (RiL) |             | NMVOC, chlor, aliphat. (L)         |             |
| Metalle (RiL)              |             | Dichlorethan (L)                   | 2,03E-07 kg |
| Blei (Pb) (RiL)            | 3,53E-08 kg | Dichlorethen (L)                   | 9,63E-17 kg |
| Eisen (Fe) (RiL)           | 2,29E-05 kg | Vinylchlorid (L)                   | 6,42E-17 kg |
| Ferromangan (RiL)          | 1,74E-11 kg | NMVOC, chlor, arom. (L)            |             |
| Magnesium (Mg) (RiL)       | 1,06E-05 kg | Chlorbenzole (L)                   | 1,32E-12 kg |
| Nickel (Ni) (RiL)          | 7,16E-14 kg | Chlorphenole (L)                   | 2,64E-12 kg |
| Zink (Zn) (RiL)            | 3,41E-12 kg | PCB (L)                            | 9,91E-13 kg |
| Schwefel (RiL)             | 6,12E-03 kg | PCDD, PCDF (L)                     | 3,80E-14 kg |
| Stoffe, diverse            |             | NMVOC, chlor., unspez. (L)         | 6,16E-07 kg |
| Betriebsstoffe             |             | NMVOC, fluor. (L)                  |             |
| Aktivkohle                 | 1,11E-08 kg | Halon 1301 (L)                     | 4,50E-09 kg |
| C-Donator                  | 9,71E-08 kg | Hexafluorethan (L)                 | 1,08E-14 kg |
| Eisen(III)-chlorid         | 1,39E-08 kg | NMVOC, fluor., unspez. (L)         | 5,35E-12 kg |
| Kalkmilch                  | 1,11E-07 kg | Perfluorethan (L)                  | 4,74E-11 kg |
| Natronlauge                | 2,06E-07 kg | Perfluormethan (L)                 | 7,05E-13 kg |
| P-Donator                  | 4,16E-09 kg | NMVOC, halog., unspez. (L)         | 1,21E-11 kg |
| Reinigungschemikalien      | 5,41E-08 kg | NMVOC, nichthalog. (L)             |             |
| Hilfsstoffe                |             | Akohole (L)                        |             |
| Hilfsmittel, unspez.       | 2,68E-05 kg | Methanol (L)                       | 3,41E-09 kg |
| Hilfsstoffe, unspez.       | 3,28E-07 kg | Aldehyde (L)                       |             |
| Luft                       | 4,48E-05 kg | Aldehyde, unspez. (L)              | 6,66E-07 kg |
| Sekundärrohstoffe, unspez. | 5,53E-10 kg | Formaldehyd (L)                    | 3,92E-06 kg |
| Wäsche                     | 5,00E+00 kg | Alkane (L)                         |             |
| Wasser                     |             | Hexan (L)                          | 2,14E-07 kg |
| Brauch-/Trinkwasser        |             | Amine (L)                          |             |
| Kühlwasser                 | 4,27E+02 kg | Ethylendiamine (L)                 | 1,16E-07 kg |
| Kühlwasser, unspez.        | 5,33E-02 kg | andere S (und O)-haltige Verb. (L) |             |
| Waschwasser                | 1,73E-01 kg | Mercaptane (L)                     | 4,98E-07 kg |
| Wasser                     | 5,40E+01 kg | Aromatische Verbindungen (L)       |             |
| Wasser (Kesselspeise)      | 1,07E+02 kg | aromatische KW (L)                 |             |
| Wasser (Prozess)           | 2,07E+00 kg | Benzol (L)                         | 1,49E-06 kg |
| Wasser, unspez.            | 9,48E-02 kg | PAK (L)                            |             |
|                            |             | Benzo(a)pyren (L)                  | 1,04E-10 kg |
|                            |             | PAK ohne B(a)P (L)                 | 2,16E-08 kg |
|                            |             | PAK, unspez. (L)                   | 1,55E-38 kg |
|                            |             | NMVOC, unspez. (L)                 | 4,13E-04 kg |
|                            |             | Stoffe, org., unspez. (L)          | 8,80E-11 kg |
|                            |             | TOC (L)                            | 2,64E-08 kg |
|                            |             | VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)       | 5,31E-04 kg |
|                            |             | VOC, unspez. (L)                   | 3,99E-06 kg |
|                            |             | Emissionen (Wasser)                |             |
|                            |             | Emissionen (W)                     |             |

| Input | Output                                             |              |
|-------|----------------------------------------------------|--------------|
|       | Abwärme (W)                                        | 2,46E+03 kJ  |
|       | Chemikalien, unspez. (W)                           | 1,29E-06 kg  |
|       | Feststoffe, gelöst (W)                             | 1,81E-04 kg  |
|       | Feststoffe, suspendiert (W)                        | 1,78E-01 kg  |
|       | Verbindungen, anorganisch (W)                      |              |
|       | Bor (W)                                            | 7,74E-05 kg  |
|       | Carbonat (W)                                       | 2,24E-09 kg  |
|       | Chlor (W)                                          | 1,59E-06 kg  |
|       | Chlor, gelöst (W)                                  | 1,01E-11 kg  |
|       | Chlorat (W)                                        | 1,50E-06 kg  |
|       | Chlorid (W)                                        | 4,75E-02 kg  |
|       | Cyanid (W)                                         | 1,18E-06 kg  |
|       | Fluor (W)                                          | 1,48E-08 kg  |
|       | Fluorid (W)                                        | 4,45E-03 kg  |
|       | Metalle (W)                                        |              |
|       | Aluminium (W)                                      | 8,75E-06 kg  |
|       | Antimon (W)                                        | 9,04E-12 kg  |
|       | Arsen (W)                                          | 2,40E-08 kg  |
|       | Barium (W)                                         | 3,10E-06 kg  |
|       | Beryllium (W)                                      | 3,19E-10 kg  |
|       | Blei (W)                                           | 5,99E-07 kg  |
|       | Cadmium (W)                                        | 2,52E-07 kg  |
|       | Calcium (W)                                        | 3,00E-09 kg  |
|       | Chrom (W)                                          | 2,05E-07 kg  |
|       | Chrom-(VI)-oxid (W) (W)                            | 2,98E-15 kg  |
|       | Cobalt (W)                                         | 7,67E-11 kg  |
|       | Eisen (W)                                          | 1,83E-05 kg  |
|       | Kalium (W)                                         | 4,01E-10 kg  |
|       | Kobalt (W)                                         | 1,74E-14 kg  |
|       | Kupfer (W)                                         | 5,20E-08 kg  |
|       | Magnesium (W)                                      | 4,17E-11 kg  |
|       | Mangan (W)                                         | 1,07E-06 kg  |
|       | Metalle, unspez. (W)                               | 1,26E-05 kg  |
|       | Molybdän (W)                                       | 1,33E-07 kg  |
|       | Natrium (W)                                        | 5,35E-04 kg  |
|       | Nickel (W)                                         | 8,45E-08 kg  |
|       | Quecksilber (W)                                    | 6,47E-10 kg  |
|       | Selen (W)                                          | 3,96E-08 kg  |
|       | Uran (W)                                           | 1,76E-07 kg  |
|       | Vanadium (W)                                       | 1,02E-07 kg  |
|       | Zink (W)                                           | 3,25E-06 kg  |
|       | Zinn (W)                                           | 7,78E-11 kg  |
|       | Phosphat (W)                                       | 2,10E-06 kg  |
|       | Phosphate (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (W) | 1,04E-07 kg  |
|       | Phosphorverbind. als P (W)                         | 1,71E-03 kg  |
|       | Radionuklide (W)                                   |              |
|       | Radionuklide, gesamt (W)                           | 4,69E+03 kBq |

| Input | Output                                  |             |
|-------|-----------------------------------------|-------------|
|       | Salze, anorg. (W)                       | 1,21E-11 kg |
|       | Säuren als H(+) (W)                     | 1,20E-05 kg |
|       | Säuren, unspez. (W)                     | 3,34E-03 kg |
|       | Schwefel (W)                            | 3,09E-11 kg |
|       | Stickstoffverbindungen (W)              |             |
|       | Ammoniak (W)                            | 5,32E-07 kg |
|       | Ammonium (W)                            | 2,00E-05 kg |
|       | Nitrat (W)                              | 1,22E-05 kg |
|       | Salpetersäure (W)                       | 2,49E-08 kg |
|       | Stickstoffverb., unspez. (W)            | 2,30E-04 kg |
|       | Stickstoffverbind. als N (W)            | 7,28E-06 kg |
|       | Sulfat (W)                              | 2,38E-03 kg |
|       | Sulfid (W)                              | 3,60E-05 kg |
|       | Verbindungen, organisch (W)             |             |
|       | Detergenzien, Öl (W)                    | 6,11E-09 kg |
|       | halog. org. Verbindungen (W)            |             |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)            |             |
|       | chlor. Verbindungen, aliphat. (W)       |             |
|       | Dichlorethan (W)                        | 4,86E-07 kg |
|       | Dichlorethen (W)                        | 1,93E-19 kg |
|       | Vinylchlorid (W)                        | 3,71E-35 kg |
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)        |             |
|       | NMVOC, aromat., unspez. (W)             | 8,47E-07 kg |
|       | PCB (W)                                 | 1,85E-13 kg |
|       | Verbindungen, org., chlor., unspez. (W) | 1,19E-09 kg |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W)       |             |
|       | Ethylendiamine (W)                      | 2,82E-07 kg |
|       | Formaldehyd (W)                         | 5,63E-07 kg |
|       | KW (W)                                  |             |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W)         | 1,06E-06 kg |
|       | Toluol (W)                              | 4,06E-06 kg |
|       | Öl (W)                                  | 6,21E-14 kg |
|       | PAK (W)                                 |             |
|       | Benzo(a)pyren (W)                       | 1,10E-14 kg |
|       | PAK ohne B(a)P (W)                      | 1,89E-14 kg |
|       | PAK, unspez. (W)                        | 1,23E-08 kg |
|       | Phenole (W)                             | 3,13E-07 kg |
|       | Verbindungen, org., gelöst (W)          | 4,14E-09 kg |
|       | Verbindungen, org., unspez. (W)         | 2,16E-10 kg |
|       | Fette und Öle, gesamt (W)               | 2,59E-05 kg |
|       | Indikatorparameter                      |             |
|       | AOX (W)                                 | 2,66E-06 kg |
|       | BSB-5 (W)                               | 2,54E-04 kg |
|       | CSB (W)                                 | 5,09E-03 kg |
|       | DOC (W)                                 | 3,56E-05 kg |
|       | TOC (W)                                 | 9,90E-05 kg |
|       | Sickerwasser, diffus (W)                | 3,11E-05 kg |

| Input | Output                                   |                         |
|-------|------------------------------------------|-------------------------|
|       | Wasserstoffperoxid (W)                   | 3,52E-05 kg             |
|       | Energieträger, sekundär                  |                         |
|       | Energie, elektrisch                      | 7,52E+00 kJ             |
|       | Energie, thermisch                       | 1,59E+01 kJ             |
|       | Ledergerbung                             |                         |
|       | Energiegutschrift, Methanol              | 2,33E+00 kJ             |
|       | Mineralien                               |                         |
|       | Gips (REA)                               | 2,35E-07 kg             |
|       | Naturraum                                |                         |
|       | Deponievolumen                           | 1,76E-05 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert   | 7,65E-09 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert | 2,13E-09 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel.    | 1,16E-08 m <sup>3</sup> |
|       | Stoffe, diverse                          |                         |
|       | Wäsche                                   | 5,00E+00 kg             |
|       | Wasser                                   |                         |
|       | Abwasser                                 |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlämmung)            | 1,07E+02 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                    | 1,55E+02 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                       | 1,87E+00 kg             |
|       | Abwasser (Waschwasser)                   | 1,73E-01 kg             |
|       | Abwasser Kühlwasser, unspezifisch        | 5,33E-02 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                        | 5,38E+01 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                        | 2,99E+00 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus                     | 2,12E-04 kg             |
|       | Sickerwasser, gefaßt                     | 4,31E-05 kg             |
|       | Wasserdampf                              | 2,72E+02 kg             |

Tabelle 4-9: Szenario TRADITIONELLES WASCHMITTEL - Gutschrift (aggregiert über alle Äquivalenzsysteme)

| Input                           |             | Output                               |                         |
|---------------------------------|-------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Energieträger, sekundär         |             | Abfälle                              |                         |
| Energie, elektrisch             | 7,52E+00 kJ | Abfälle zur Beseitigung              |                         |
| Energie, thermisch              | 1,59E+01 kJ | Abfälle aus REA                      | 7,77E-07 kg             |
| Kumulierter Energieaufwand      |             | Abraum                               | 7,46E-03 kg             |
| KEA (Kernenergie)               | 8,81E+00 kJ | Aschen u. Schlacken                  | 1,14E-06 kg             |
| KEA (Wasserkraft)               | 1,44E-02 kJ | Klärschlamm                          | 5,64E-08 kg             |
| KEA, fossil gesamt              | 3,39E+01 kJ | Radioaktive Abfälle (hochradioaktiv) | 4,34E-15 m <sup>3</sup> |
| KEA, regenerativ                | 2,16E-02 kJ | Sonderabfall                         | 6,05E-09 kg             |
| KEA, sonst. regenerative        | 2,59E-01 kJ | Abfälle zur Verwertung               |                         |
| KEA, sonstige                   | 4,00E-02 kJ | Aschen u. Schlacken                  | 1,08E-05 kg             |
| KEA, un spez.                   | 7,50E-10 kJ | Filterstaub                          | 4,81E-06 kg             |
| Ledergerbung                    |             | Gips (REA)                           | 1,90E-05 kg             |
| Energiegutschrift, Methanol     | 2,33E+00 kJ | Grobasche                            | 7,19E-07 kg             |
| Rohstoffe in Lagerstätten (RiL) |             | Natriumsulfat                        | 1,58E-07 kg             |
| Energieträger (RiL)             |             | Schmelzkammergranulat                | 6,03E-06 kg             |
| Erdgas (RiL)                    | 3,43E-04 kg | Wirbelschichtasche                   | 4,81E-07 kg             |
| Erdöl (RiL)                     | 8,80E-05 kg | Abfälle, unspezifiziert              | 3,56E-06 kg             |
| Kohlen (RiL)                    |             | Emissionen (Luft)                    |                         |
| Braunkohle (RiL)                | 9,43E-04 kg | Abwärme (L)                          | 1,28E+01 kJ             |
| Steinkohle (RiL)                | 3,29E-04 kg | Staub (>PM10) (L)                    | 1,96E-08 kg             |
| Uran (RiL)                      | 1,48E-08 kg | Staub (L)                            | 3,57E-07 kg             |
| Nichtenergieträger (RiL)        |             | Staub (PM10) (L)                     | 4,57E-08 kg             |
| Mineralien und Erze (RiL)       |             | Verbindungen, anorg. (L)             |                         |
| Kalkstein (RiL)                 | 2,98E-05 kg | Ammoniak (L)                         | 1,25E-08 kg             |
| Natriumchlorid (RiL)            | 1,60E-07 kg | Chlorwasserstoff (L)                 | 2,55E-07 kg             |
| Sand (RiL)                      | 5,62E-07 kg | Distickstoffmonoxid (L)              | 2,12E-07 kg             |
| Rohstoffe, elementar (RiL)      |             | Fluor (L)                            | 1,94E-13 kg             |
| Schwefel (RiL)                  | 1,04E-07 kg | Fluorwasserstoff (L)                 | 1,66E-08 kg             |
| Wasser                          |             | Kohlendioxid (L)                     |                         |
| Brauch-/Trinkwasser             |             | Kohlendioxid, fossil (L)             | 2,68E-03 kg             |
| Kühlwasser                      | 4,88E-01 kg | Kohlenmonoxid (L)                    | 1,34E-06 kg             |
| Wasser (Kesselspeise)           | 1,23E-01 kg | Metalle (L)                          |                         |
| Wasser (Prozess)                | 2,14E-04 kg | Antimon (L)                          | 2,62E-12 kg             |
| Wasser, un spez.                | 2,47E-05 kg | Arsen (L)                            | 2,32E-11 kg             |
|                                 |             | Beryllium (L)                        | 3,14E-12 kg             |
|                                 |             | Blei (L)                             | 3,40E-11 kg             |
|                                 |             | Cadmium (L)                          | 5,44E-12 kg             |
|                                 |             | Chrom (L)                            | 1,05E-11 kg             |
|                                 |             | Kobalt (L)                           | 2,27E-12 kg             |
|                                 |             | Kupfer (L)                           | 1,17E-11 kg             |
|                                 |             | Mangan (L)                           | 1,14E-11 kg             |
|                                 |             | Nickel (L)                           | 1,98E-10 kg             |
|                                 |             | Quecksilber (L)                      | 3,08E-11 kg             |
|                                 |             | Selen (L)                            | 1,83E-10 kg             |

| Input | Output                               |
|-------|--------------------------------------|
|       | Thallium (L) 4,86E-13 kg             |
|       | Uran (L) 8,99E-12 kg                 |
|       | Vanadium (L) 2,52E-12 kg             |
|       | Zink (L) 8,55E-11 kg                 |
|       | Zinn (L) 8,81E-12 kg                 |
|       | NOx (L) 4,17E-06 kg                  |
|       | Radionuklide (L)                     |
|       | Radionuklide, gesamt (L) 9,03E+02 Bq |
|       | Schwefel (L) 1,36E-12 kg             |
|       | Schwefeldioxid (L) 3,26E-06 kg       |
|       | Schwefelwasserstoff (L) 1,99E-11 kg  |
|       | VOC (L)                              |
|       | Methan (L) 7,36E-06 kg               |
|       | NMVOC (L)                            |
|       | NMVOC, halog. (L)                    |
|       | NMVOC, chlor. (L)                    |
|       | NMVOC, chlor, aromat. (L)            |
|       | Chlorbenzole (L) 1,55E-19 kg         |
|       | Chlorphenole (L) 3,10E-19 kg         |
|       | PCB (L) 1,55E-21 kg                  |
|       | PCDD, PCDF (L) 2,76E-17 kg           |
|       | NMVOC, fluor. (L)                    |
|       | Perfluorethan (L) 6,79E-14 kg        |
|       | Perfluormethan (L) 1,08E-13 kg       |
|       | NMVOC, nichthalog. (L)               |
|       | Aldehyde (L)                         |
|       | Formaldehyd (L) 6,84E-11 kg          |
|       | Alkane (L)                           |
|       | Hexan (L) 2,46E-10 kg                |
|       | Aromatische Verbindungen (L)         |
|       | aromatische KW (L)                   |
|       | Benzol (L) 1,05E-10 kg               |
|       | PAK (L)                              |
|       | Benzo(a)anthrazen (L) 3,23E-15 kg    |
|       | Benzo(a)pyren (L) 4,86E-14 kg        |
|       | PAK ohne B(a)P (L) 1,45E-11 kg       |
|       | NMVOC, unspez. (L) 2,41E-07 kg       |
|       | VOC, unspez. (L) 2,81E-11 kg         |
|       | Emissionen (Wasser)                  |
|       | Emissionen (W)                       |
|       | Abwärme (W) 2,82E+00 kJ              |
|       | Verbindungen, anorganisch (W)        |
|       | Bor (W) 1,70E-13 kg                  |
|       | Chlor (W) 1,83E-09 kg                |
|       | Chlorid (W) 1,14E-07 kg              |
|       | Cyanid (W) 1,60E-13 kg               |
|       | Fluor (W) 1,70E-11 kg                |

| Input | Output                            |              |
|-------|-----------------------------------|--------------|
|       | Fluorid (W)                       | 2,76E-10 kg  |
|       | Metalle (W)                       |              |
|       | Aluminium (W)                     | 4,69E-11 kg  |
|       | Antimon (W)                       | 2,09E-15 kg  |
|       | Arsen (W)                         | 5,84E-12 kg  |
|       | Barium (W)                        | 2,78E-11 kg  |
|       | Beryllium (W)                     | 3,66E-13 kg  |
|       | Blei (W)                          | 6,24E-10 kg  |
|       | Cadmium (W)                       | 1,47E-12 kg  |
|       | Chrom (W)                         | 2,55E-11 kg  |
|       | Cobalt (W)                        | 8,80E-14 kg  |
|       | Kupfer (W)                        | 5,90E-12 kg  |
|       | Mangan (W)                        | 1,22E-09 kg  |
|       | Molybdän (W)                      | 1,52E-10 kg  |
|       | Nickel (W)                        | 1,26E-11 kg  |
|       | Quecksilber (W)                   | 2,65E-14 kg  |
|       | Selen (W)                         | 4,54E-11 kg  |
|       | Uran (W)                          | 2,02E-10 kg  |
|       | Vanadium (W)                      | 1,17E-10 kg  |
|       | Zink (W)                          | 3,63E-11 kg  |
|       | Zinn (W)                          | 8,92E-14 kg  |
|       | Phosphorverbind. als P (W)        | 3,85E-12 kg  |
|       | Radionuklide (W)                  |              |
|       | Radionuklide, gesamt (W)          | 5,38E+00 kBq |
|       | Salze, anorg. (W)                 | 2,03E-12 kg  |
|       | Stickstoffverbindungen (W)        |              |
|       | Ammoniak (W)                      | 6,10E-10 kg  |
|       | Ammonium (W)                      | 2,35E-09 kg  |
|       | Nitrat (W)                        | 3,39E-10 kg  |
|       | Salpetersäure (W)                 | 2,85E-11 kg  |
|       | Stickstoffverbind. als N (W)      | 6,36E-11 kg  |
|       | Sulfat (W)                        | 1,27E-06 kg  |
|       | Sulfid (W)                        | 1,86E-12 kg  |
|       | Verbindungen, organisch (W)       |              |
|       | halog. org. Verbindungen (W)      |              |
|       | chlor. org. Verbindungen (W)      |              |
|       | chlor. Verbindungen, aromat. (W)  |              |
|       | PCB (W)                           | 2,05E-16 kg  |
|       | nichthalog. org. Verbindungen (W) |              |
|       | KW (W)                            |              |
|       | Kohlenwasserstoffe, unspez. (W)   | 1,93E-12 kg  |
|       | Öl (W)                            | 7,12E-17 kg  |
|       | PAK (W)                           |              |
|       | Benzo(a)pyren (W)                 | 1,26E-17 kg  |
|       | PAK ohne B(a)P (W)                | 1,13E-17 kg  |
|       | Phenole (W)                       | 2,34E-13 kg  |
|       | Indikatorparameter                |              |

| Input | Output                                   |                         |
|-------|------------------------------------------|-------------------------|
|       | AOX (W)                                  | 2,89E-13 kg             |
|       | BSB-5 (W)                                | 6,97E-11 kg             |
|       | CSB (W)                                  | 5,58E-10 kg             |
|       | TOC (W)                                  | 2,86E-09 kg             |
|       | Energieträger, sekundär                  |                         |
|       | Energie, elektrisch                      | 7,52E+00 kJ             |
|       | Energie, thermisch                       | 1,59E+01 kJ             |
|       | Import Materials                         |                         |
|       | Sondermüll                               | 1,47E-08 kg             |
|       | Ledergerbung                             |                         |
|       | Energiegutschrift, Methanol              | 2,33E+00 kJ             |
|       | Naturraum                                |                         |
|       | Deponievolumen                           | 8,96E-09 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, hochaktiv, endgelagert   | 8,77E-12 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, mittelaktiv, endgelagert | 2,45E-12 m <sup>3</sup> |
|       | Nuklearabfälle, schwachaktiv, endgel.    | 1,33E-11 m <sup>3</sup> |
|       | Wasser                                   |                         |
|       | Abwasser                                 |                         |
|       | Abwasser (Kesselabschlämmung)            | 1,23E-01 kg             |
|       | Abwasser (Kühlwasser)                    | 1,77E-01 kg             |
|       | Abwasser (Prozess)                       | 2,29E-05 kg             |
|       | Abwasser, geklärt                        | 2,05E-06 kg             |
|       | Abwasser, unspez.                        | 3,59E-06 kg             |
|       | Sickerwasser, diffus                     | 2,43E-07 kg             |
|       | Sickerwasser, gefaßt                     | 4,94E-08 kg             |
|       | Wasserdampf                              | 3,12E-01 kg             |

## 4.5 Wirkungsabschätzungsdaten und zugeordnete Sachbilanz- ergebnisse

Tabelle 4-10: Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) und zugeordnete Sachbilanz-  
ergebnisse (Klassifizierung) für beide Szenarien

|                                    | Einheit                             | MODERNES WASCHMITTEL |            |          | TRADITIONELLES WASCHMITTEL |            |          |
|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------|----------|----------------------------|------------|----------|
|                                    |                                     | Brutto               | Gutschrift | Netto    | Brutto                     | Gutschrift | Netto    |
| KEA                                |                                     |                      |            |          |                            |            |          |
|                                    | Klassifizierung = Charakterisierung |                      |            |          |                            |            |          |
| KEA fossil                         | kJ                                  | 7,86E+03             | -1,13E+02  | 7,75E+03 | 1,42E+04                   | -3,39E+01  | 1,42E+04 |
| KEA Kernkraft                      | kJ                                  | 3,47E+03             | -8,18E+00  | 3,47E+03 | 7,79E+03                   | -8,81E+00  | 7,78E+03 |
| KEA sonstige                       | kJ                                  | 1,75E+03             | -3,37E-01  | 1,75E+03 | 3,03E+03                   | -4,00E-02  | 3,03E+03 |
| KEA Wasserkraft                    | kJ                                  | 5,41E+01             | -1,14E-02  | 5,41E+01 | 9,24E+01                   | -1,44E-02  | 9,24E+01 |
| KEA regenerativ                    | kJ                                  | 3,39E+02             | -3,71E-01  | 3,39E+02 | 4,57E+02                   | -2,81E-01  | 4,56E+02 |
| Summe KEA                          | kJ                                  | 1,35E+04             | -1,22E+02  | 1,34E+04 | 2,56E+04                   | -4,30E+01  | 2,55E+04 |
| Treibhauseffekt                    |                                     |                      |            |          |                            |            |          |
|                                    | Klassifizierung                     |                      |            |          |                            |            |          |
| Perfluorethan (L)                  | kg                                  | 1,08E-14             | -          | 1,08E-14 | 1,08E-14                   | -          | 1,08E-14 |
| Perfluormethan (L)                 | kg                                  | 2,72E-11             | -9,48E-14  | 2,71E-11 | 7,05E-13                   | -1,08E-13  | 5,96E-13 |
| Methan (L)                         | kg                                  | 1,83E-03             | -2,79E-05  | 1,80E-03 | 3,11E-03                   | -7,36E-06  | 3,11E-03 |
| Kohlendioxid fossil u. unspez. (L) | kg                                  | 7,07E-01             | -6,66E-03  | 7,00E-01 | 1,50E+00                   | -2,68E-03  | 1,50E+00 |
| Halon 1301 (L)                     | kg                                  | 1,66E-09             | -          | 1,66E-09 | 4,50E-09                   | -          | 4,50E-09 |
| Distickstoffmonoxid (L)            | kg                                  | 1,17E-05             | -2,65E-07  | 1,14E-05 | 1,96E-05                   | -2,12E-07  | 1,94E-05 |
| R11 (L)                            | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R113 (L)                           | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R114 (L)                           | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R115 (L)                           | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R12 (L)                            | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R123 (L)                           | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R141 (L)                           | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R142 (L)                           | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 22 (L)                           | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 134a (L)                         | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 404A (L)                         | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 407C (L)                         | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 410A (L)                         | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 417a (Isceon 59) (L)             | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Tetrachlorkohlenstoff (L)          | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Trichlorethan (L)                  | kg                                  | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
|                                    | Charakterisierung                   |                      |            |          |                            |            |          |
| Perfluorethan                      | kg CO <sub>2</sub>                  | 8,84E-11             | -          | -        | 8,85E-11                   | -          | 8,85E-11 |
| Perfluormethan                     | kg CO <sub>2</sub>                  | 1,71E-07             | -5,97E-10  | 1,71E-07 | 4,44E-09                   | -6,82E-10  | 3,76E-09 |
| Methan                             | kg CO <sub>2</sub>                  | 3,84E-02             | -5,86E-04  | 3,78E-02 | 6,54E-02                   | -1,55E-04  | 6,52E-02 |
| Kohlendioxid fossil u. unspez.     | kg CO <sub>2</sub>                  | 7,07E-01             | -6,66E-03  | 7,00E-01 | 1,50E+00                   | -2,68E-03  | 1,50E+00 |

|                                                       | Einheit            | MODERNES WASCHMITTEL |            |          | TRADITIONELLES WASCHMITTEL |            |          |
|-------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|------------|----------|----------------------------|------------|----------|
|                                                       |                    | Brutto               | Gutschrift | Netto    | Brutto                     | Gutschrift | Netto    |
| Halon 1301                                            | kg CO <sub>2</sub> | 9,28E-06             | -          | 9,28E-06 | 2,52E-05                   | -          | 2,52E-05 |
| Distickstoffmonoxid                                   | kg CO <sub>2</sub> | 3,63E-03             | -8,22E-05  | 3,54E-03 | 6,07E-03                   | -6,58E-05  | 6,00E-03 |
| R 11                                                  | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 113                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 114                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 115                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 12                                                  | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 123                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 141                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 142                                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 22                                                  | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 134a                                                | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 404A                                                | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 407C                                                | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 410A                                                | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| R 417a (Isceon 59)                                    | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Tetrachlorkohlenstoff                                 | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Trichlorethan                                         | kg CO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Treibhauspotential (GWP 100)                          | kg CO <sub>2</sub> | 7,49E-01             | -7,33E-03  | 7,41E-01 | 1,57E+00                   | -2,90E-03  | 1,57E+00 |
| <b>Versauerung</b>                                    |                    |                      |            |          |                            |            |          |
|                                                       |                    | Klassifizierung      |            |          |                            |            |          |
| Chlorwasserstoff (L)                                  | kg                 | 2,97E-05             | -2,13E-07  | 2,95E-05 | 5,68E-05                   | -2,55E-07  | 5,65E-05 |
| Fluorwasserstoff (L)                                  | kg                 | 3,12E-06             | -1,40E-08  | 3,11E-06 | 6,07E-06                   | -1,66E-08  | 6,06E-06 |
| Schwefeloxide (als SO <sub>2</sub> ) (L)              | kg                 | 1,50E-03             | -2,83E-06  | 1,50E-03 | 3,39E-03                   | -3,26E-06  | 3,38E-03 |
| Schwefelwasserstoff (L)                               | kg                 | 1,27E-07             | -1,85E-10  | 1,27E-07 | 1,58E-07                   | -1,99E-11  | 1,58E-07 |
| Stickoxide (NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> ) (L) | kg                 | 1,31E-03             | -9,60E-06  | 1,30E-03 | 2,49E-03                   | -4,17E-06  | 2,48E-03 |
| TRS (L)                                               | kg                 | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ammoniak (L)                                          | kg                 | 2,28E-05             | -9,84E-09  | 2,28E-05 | 4,61E-05                   | -1,25E-08  | 4,61E-05 |
|                                                       |                    | Charakterisierung    |            |          |                            |            |          |
| Chlorwasserstoff                                      | kg SO <sub>2</sub> | 2,62E-05             | -1,88E-07  | 2,60E-05 | 5,00E-05                   | -2,24E-07  | 4,98E-05 |
| Fluorwasserstoff                                      | kg SO <sub>2</sub> | 4,99E-06             | -2,24E-08  | 4,97E-06 | 9,72E-06                   | -2,66E-08  | 9,69E-06 |
| Schwefeloxide (als SO <sub>2</sub> )                  | kg SO <sub>2</sub> | 1,50E-03             | -2,83E-06  | 1,50E-03 | 3,39E-03                   | -3,26E-06  | 3,38E-03 |
| Schwefelwasserstoff                                   | kg SO <sub>2</sub> | 2,39E-07             | -3,49E-10  | 2,39E-07 | 2,96E-07                   | -3,75E-11  | 2,96E-07 |
| Stickoxide (als NO <sub>2</sub> )                     | kg SO <sub>2</sub> | 9,15E-04             | -6,72E-06  | 9,08E-04 | 1,74E-03                   | -2,92E-06  | 1,74E-03 |
| TRS                                                   | kg SO <sub>2</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ammoniak                                              | kg SO <sub>2</sub> | 4,28E-05             | -1,85E-08  | 4,28E-05 | 8,67E-05                   | -2,34E-08  | 8,67E-05 |
| Versauerungspotential                                 | kg SO <sub>2</sub> | 2,49E-03             | -9,78E-06  | 2,48E-03 | 5,28E-03                   | -6,46E-06  | 5,27E-03 |
| <b>Eutrophierung</b>                                  |                    |                      |            |          |                            |            |          |
|                                                       |                    | Klassifizierung      |            |          |                            |            |          |
| Ammoniak (L)                                          | kg                 | 2,28E-05             | -9,84E-09  | 2,28E-05 | 4,61E-05                   | -1,25E-08  | 4,61E-05 |
| Stickoxide (NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> ) (L) | kg                 | 1,31E-03             | -9,60E-06  | 1,30E-03 | 2,49E-03                   | -4,17E-06  | 2,48E-03 |
| CSB (W)                                               | kg                 | 5,41E-03             | -4,41E-10  | 5,41E-03 | 5,09E-03                   | -5,58E-10  | 5,09E-03 |
| Nitrit (W)                                            | kg                 | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Nitrat (W)                                            | kg                 | 6,09E-05             | -2,68E-10  | 6,09E-05 | 1,22E-05                   | -3,39E-10  | 1,22E-05 |

|                                                   | Einheit            | MODERNES WASCHMITTEL |            |          | TRADITIONELLES WASCHMITTEL |            |          |
|---------------------------------------------------|--------------------|----------------------|------------|----------|----------------------------|------------|----------|
|                                                   |                    | Brutto               | Gutschrift | Netto    | Brutto                     | Gutschrift | Netto    |
| Ammonium (W)                                      | kg                 | 1,19E-05             | -1,86E-09  | 1,19E-05 | 2,00E-05                   | -2,35E-09  | 2,00E-05 |
| Stickstoff-Verb. unspez. (W)                      | kg                 | 7,35E-05             | -          | 7,35E-05 | 2,30E-04                   | -          | 2,30E-04 |
| Stickstoff-Verb. als N (W)                        | kg                 | 1,17E-05             | -5,02E-11  | 1,17E-05 | 7,28E-06                   | -6,36E-11  | 7,28E-06 |
| Phosphat (W)                                      | kg                 | 2,82E-06             | -          | 2,82E-06 | 2,10E-06                   | -          | 2,10E-06 |
| Phosphor als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (W)    | kg                 | 2,25E-07             | -          | 2,25E-07 | 1,04E-07                   | -          | 1,04E-07 |
| Phosphor-Verb. als P (W)                          | kg                 | 1,60E-09             | -3,04E-12  | 1,60E-09 | 1,71E-03                   | -3,85E-12  | 1,71E-03 |
| Charakterisierung                                 |                    |                      |            |          |                            |            |          |
| Ammoniak                                          | kg PO <sub>4</sub> | 7,88E-06             | -3,40E-09  | 7,87E-06 | 1,60E-05                   | -4,31E-09  | 1,60E-05 |
| Stickoxide (NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> ) | kg PO <sub>4</sub> | 1,70E-04             | -1,25E-06  | 1,64E-04 | 3,23E-04                   | -5,43E-07  | 3,23E-04 |
| CSB                                               | kg PO <sub>4</sub> | 1,19E-04             | -9,71E-12  | 3,89E-06 | 1,12E-04                   | -1,23E-11  | 1,12E-04 |
| Nitrit                                            | kg PO <sub>4</sub> | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Nitrat                                            | kg PO <sub>4</sub> | 5,78E-06             | -2,54E-11  | 5,78E-06 | 1,16E-06                   | -3,22E-11  | 1,16E-06 |
| Ammonium                                          | kg PO <sub>4</sub> | 3,91E-06             | -6,08E-10  | 3,90E-06 | 6,54E-06                   | -7,70E-10  | 6,54E-06 |
| Stickstoff-Verb. unspez.                          | kg PO <sub>4</sub> | 3,09E-05             | -          | 3,09E-05 | 9,65E-05                   | -          | 9,65E-05 |
| Stickstoff-Verb. als N                            | kg PO <sub>4</sub> | 4,91E-06             | -2,11E-11  | 4,91E-06 | 3,06E-06                   | -2,67E-11  | 3,06E-06 |
| Phosphat                                          | kg PO <sub>4</sub> | 2,82E-06             | -          | 2,82E-06 | 2,10E-06                   | -          | 2,10E-06 |
| Phosphate als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>       | kg PO <sub>4</sub> | 3,01E-07             | -          | 3,01E-07 | 1,40E-07                   | -          | 1,40E-07 |
| Phosphor-Verb. als P                              | kg PO <sub>4</sub> | 4,89E-09             | -9,29E-12  | 4,89E-09 | 5,23E-03                   | -1,18E-11  | 5,23E-03 |
| Eutroph.-Potential (terrest.)                     | kg PO <sub>4</sub> | 1,78E-04             | -1,25E-06  | 1,77E-04 | 3,39E-04                   | -5,47E-07  | 3,39E-04 |
| Eutroph.-Potential (aquat.)                       | kg PO <sub>4</sub> | 1,68E-04             | -6,73E-10  | 1,68E-04 | 5,46E-03                   | -8,53E-10  | 5,46E-03 |
| Eutroph.-Potential (gesamt)                       | kg PO <sub>4</sub> | 3,45E-04             | -1,25E-06  | 3,44E-04 | 5,80E-03                   | -5,48E-07  | 5,80E-03 |
| <b>Ozonbildung</b>                                |                    |                      |            |          |                            |            |          |
| Klassifizierung                                   |                    |                      |            |          |                            |            |          |
| Acetylen (L)                                      | kg                 | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Benzol (L)                                        | kg                 | 8,82E-07             | -8,31E-11  | 8,82E-07 | 1,49E-06                   | -1,05E-10  | 1,49E-06 |
| Ethanol (L)                                       | kg                 | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethoxipropanol (L)                                | kg                 | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethylacetat (L)                                   | kg                 | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethylen (L)                                       | kg                 | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Formaldehyd (L)                                   | kg                 | 2,17E-06             | -5,40E-11  | 2,17E-06 | 3,92E-06                   | -6,84E-11  | 3,92E-06 |
| Methan (L)                                        | kg                 | 1,83E-03             | -2,79E-05  | 1,80E-03 | 3,11E-03                   | -7,36E-06  | 3,11E-03 |
| Propan (L)                                        | kg                 | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| NMVOC aus Dieselemis. (L)                         | kg                 | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| NMVOC unspez. (L)                                 | kg                 | 2,55E-04             | -9,90E-07  | 2,54E-04 | 4,13E-04                   | -2,41E-07  | 4,13E-04 |
| VOC unspez. (L)                                   | kg                 | 5,89E-06             | -2,22E-11  | 5,89E-06 | 3,99E-06                   | -2,81E-11  | 3,99E-06 |
| NMVOC (Kohlenwasserstoffe) (L)                    | kg                 | 8,92E-08             | -          | 8,92E-08 | 8,92E-08                   | -          | 8,92E-08 |
| VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)                      | kg                 | 5,70E-04             | -          | 5,70E-04 | 7,24E-04                   | -          | 7,24E-04 |
| Charakterisierung                                 |                    |                      |            |          |                            |            |          |
| Acetylen                                          | kg Ethen           | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Benzol                                            | kg Ethen           | 1,67E-07             | -1,57E-11  | 1,67E-07 | 2,82E-07                   | -1,99E-11  | 2,82E-07 |
| Ethanol                                           | kg Ethen           | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethoxipropanol                                    | kg Ethen           | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethylacetat                                       | kg Ethen           | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ethylen                                           | kg Ethen           | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |

|                                     | Einheit  | MODERNES WASCHMITTEL |            |          | TRADITIONELLES WASCHMITTEL |            |          |
|-------------------------------------|----------|----------------------|------------|----------|----------------------------|------------|----------|
|                                     |          | Brutto               | Gutschrift | Netto    | Brutto                     | Gutschrift | Netto    |
| Formaldehyd                         | kg Ethen | 9,14E-07             | -2,27E-11  | 9,14E-07 | 1,65E-06                   | -2,88E-11  | 1,65E-06 |
| Methan                              | kg Ethen | 1,28E-05             | -1,95E-07  | 1,26E-05 | 2,18E-05                   | -5,15E-08  | 2,17E-05 |
| Propan                              | kg Ethen | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| NMVOC aus Dieselemis.               | kg Ethen | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| NMVOC unspez.                       | kg Ethen | 1,06E-04             | -4,12E-07  | 1,06E-04 | 1,72E-04                   | -1,00E-07  | 1,72E-04 |
| VOC unspez.                         | kg Ethen | 2,17E-04             | -8,38E-12  | 2,17E-04 | 2,75E-04                   | -1,06E-11  | 2,75E-04 |
| POCP                                | kg Ethen | 3,37E-04             | -6,07E-07  | 3,37E-04 | 4,70E-04                   | -1,52E-07  | 4,70E-04 |
| <b>Humantoxizität</b>               |          |                      |            |          |                            |            |          |
| Klassifizierung = Charakterisierung |          |                      |            |          |                            |            |          |
| Benzo(a)paren (L)                   | kg       | 5,81E-11             | -3,84E-14  | 5,81E-11 | 1,04E-10                   | -4,86E-14  | 1,04E-10 |
| Blei (L)                            | kg       | 2,90E-08             | -2,68E-11  | 2,89E-08 | 6,61E-08                   | -3,40E-11  | 6,60E-08 |
| Cadmium (L)                         | kg       | 8,17E-09             | -4,29E-12  | 8,17E-09 | 1,76E-08                   | -5,44E-12  | 1,76E-08 |
| Dieselpartikel (L)                  | kg       | 7,68E-06             | -          | 7,68E-06 | 1,30E-05                   | -          | 1,30E-05 |
| Kohlenmonoxid (L)                   | kg       | 3,75E-04             | -3,59E-06  | 3,71E-04 | 9,83E-04                   | -1,34E-06  | 9,82E-04 |
| PAH (L)                             | kg       | 1,23E-08             | -1,15E-11  | 1,23E-08 | 2,17E-08                   | -1,45E-11  | 2,17E-08 |
| Schwefeloxide (L)                   | kg       | 1,50E-03             | -2,83E-06  | 1,50E-03 | 3,39E-03                   | -3,26E-06  | 3,38E-03 |
| Staub (L)                           | kg       | 7,78E-04             | -3,93E-07  | 7,78E-04 | 7,98E-04                   | -3,57E-07  | 7,97E-04 |
| TRS (L)                             | kg       | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| <b>Ökotoxizität</b>                 |          |                      |            |          |                            |            |          |
| Klassifizierung = Charakterisierung |          |                      |            |          |                            |            |          |
| Ammoniak (L)                        | kg       | 2,28E-05             | -9,84E-09  | 2,28E-05 | 4,61E-05                   | -1,25E-08  | 4,61E-05 |
| Chloride (L)                        | kg       | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Fluorwasserstoff (L)                | kg       | 3,12E-06             | -1,40E-08  | 3,11E-06 | 6,07E-06                   | -1,66E-08  | 6,06E-06 |
| Schwefeldioxid (L)                  | kg       | 1,50E-03             | -2,83E-06  | 1,50E-03 | 3,39E-03                   | -3,26E-06  | 3,38E-03 |
| Schwefelwasserstoff (L)             | kg       | 1,27E-07             | -1,85E-10  | 1,27E-07 | 1,58E-07                   | -1,99E-11  | 1,58E-07 |
| Stickoxide (L)                      | kg       | 1,31E-03             | -9,60E-06  | 1,30E-03 | 2,49E-03                   | -4,17E-06  | 2,48E-03 |
| TRS (L)                             | kg       | -                    | -          | -        | -                          | -          | -        |
| Ammonium (W)                        | kg       | 1,19E-05             | -1,86E-09  | 1,19E-05 | 2,00E-05                   | -2,35E-09  | 2,00E-05 |
| AOX (W)                             | kg       | 2,09E-06             | -2,28E-13  | 2,09E-06 | 2,66E-06                   | -2,89E-13  | 2,66E-06 |
| Blei (W)                            | kg       | 3,68E-07             | -4,93E-10  | 3,67E-07 | 5,99E-07                   | -6,24E-10  | 5,98E-07 |
| Chlorid (W)                         | kg       | 4,39E-03             | -8,97E-08  | 4,39E-03 | 4,75E-02                   | -1,14E-07  | 4,75E-02 |
| Chrom (W)                           | kg       | 2,01E-07             | -2,01E-11  | 2,01E-07 | 2,05E-07                   | -2,55E-11  | 2,05E-07 |
| Fluorid (W)                         | kg       | 2,72E-05             | -2,18E-10  | 2,72E-05 | 4,45E-03                   | -2,76E-10  | 4,45E-03 |
| Halogene KW (W)                     | kg       | 8,55E-14             | -1,62E-16  | 8,54E-14 | 1,85E-13                   | -2,05E-16  | 1,85E-13 |
| PAH (W)                             | kg       | 1,65E-14             | -1,88E-17  | 1,65E-14 | 2,98E-14                   | -2,38E-17  | 2,98E-14 |
| sonstige KH (W)                     | kg       | 1,34E-06             | -1,71E-12  | 1,34E-06 | 1,37E-06                   | -2,16E-12  | 1,37E-06 |
| Sulfid (W)                          | kg       | 1,20E-05             | -1,47E-12  | 1,20E-05 | 3,60E-05                   | -1,86E-12  | 3,60E-05 |
| Zink (W)                            | kg       | 1,19E-07             | -2,86E-11  | 1,19E-07 | 3,25E-06                   | -3,63E-11  | 3,25E-06 |
| Zinn (W)                            | kg       | 3,50E-11             | -7,04E-14  | 3,50E-11 | 7,78E-11                   | -8,92E-14  | 7,77E-11 |



## **5 Anhang zum Konzept zur vergleichenden Bewertung des Gefahrenpotentials der biotechnischen bzw. chemisch-technischen Produktion**

### **5.1 Gefahrenpotential der relevanten Arbeitsstoffe**

#### **5.1.1 Vorbemerkung**

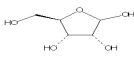
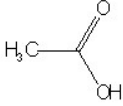
Im Folgenden finden sich grundlegende Informationen zu den Arbeitsstoffen, die für die Abschätzung des stoffbezogenen Gefahrenpotentials in den untersuchten Verfahrensalternativen bzw. den dafür erforderlichen Anlagen und Prozessen relevant sind. Dies umfasst sowohl Vorprodukte als auch dabei gebildete Zwischenprodukten sowie End- und Nebenprodukte. Bei der Recherche der nachfolgend dokumentierten stoffbezogenen Informationen wurden folgende, hier summarisch zitierten Informationsquellen genutzt: BAuA (2003), BIA (2003), BIA (2004), BIA (2004a), ChemFinder (2004), CSI (2004), ISI (2004), MERCK (2004), StörfallV (2000) TRGS 440 (2002), TRGS 900 (2003), TRGS 903 (2002), TRGS 905 (2003), TRGS 907 (2002), VCI (1998).

Die Festlegung der Mengenschwellen nach Störfall-Verordnung (2000) sowie die Einstufung nach dem Spaltenmodell der TRGS 440 (2002), die sich jeweils am Ende der folgenden Tabellen finden, wurde vom Bearbeiter dieses Berichtsmoduls vorgenommen.

## 5.1.2 Chemisch-technische Riboflavin-Produktion

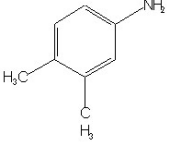
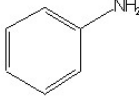
## 5.1.2.1 Herstellung des Azofarbstoffes

Tabelle 5-1: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung des Azo-Farbstoffes relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) - Teil 1

| Name (deutsch)                                                                                                    | Salzsäure 30 %                                                                        | Natriumhydroxid-Lösung 50 %                                                           | D(-)-Ribose                                                                        | Essigsäure 30 %                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Name (englisch)                                                                                                   | Hydrochloric acid                                                                     | Sodium hydroxide solution                                                             | D(-)-Ribose                                                                        | Acetic acid                                                                             |
| Synonyme                                                                                                          | Hydrogenchlorid, Chlorwasserstoff                                                     | Natronlauge                                                                           |                                                                                    |                                                                                         |
| CAS-Nr.                                                                                                           | 7647-01-0 (konz.)                                                                     | 1310-73-2 (fest)                                                                      | 50-69-1                                                                            | 64-19-7                                                                                 |
| Summenformel                                                                                                      | HCl                                                                                   | NaOH                                                                                  | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>                                      | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>                                            |
| Strukturformel                                                                                                    | ---                                                                                   | ---                                                                                   |  |      |
| Aggregatzustand                                                                                                   | flüssig                                                                               | flüssig                                                                               | fest                                                                               | flüssig                                                                                 |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                    | 21,8 hPa                                                                              | 2 hPa                                                                                 | ---                                                                                | k.A.                                                                                    |
| Flammpunkt                                                                                                        | nicht anwendbar                                                                       | nicht anwendbar                                                                       | k.A.                                                                               | k.A.                                                                                    |
| Siedepunkt                                                                                                        | 90°C                                                                                  | 143°C                                                                                 | k.A.                                                                               | 101°C                                                                                   |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                           | ätzend                                                                                | ätzend                                                                                | ---                                                                                | ätzend                                                                                  |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                               |  C |  C | ---                                                                                |  C |
| R-Sätze                                                                                                           | R34, R37                                                                              | R35                                                                                   | ---                                                                                | R34                                                                                     |
| WGK                                                                                                               | 1 (schwach wasser-gefährdend)                                                         | 1 (schwach wasser-gefährdend)                                                         | 1 (schwach wasser-gefährdend)                                                      | 1 (schwach wasser-gefährdend)                                                           |
| Lagerklasse VCI                                                                                                   | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                  | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                  | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                      | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                    |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                              | 2 (Sehr starke Gifte)                                                                 | 2 (Sehr starke Gifte)                                                                 | F (Giftklassenfrei)                                                                | 3 (Starke Gifte)                                                                        |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                                                      | K: ---                                                                                | K: ---                                                                                | K: ---                                                                             | K: ---                                                                                  |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                                                      | M: ---                                                                                | M: ---                                                                                | M: ---                                                                             | M: ---                                                                                  |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: fruchtschädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                    | Re: ---<br>Rf: ---                                                                    | Re: ---<br>Rf: ---                                                                 | Re: ---<br>Rf: ---                                                                      |

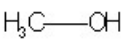
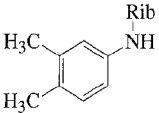
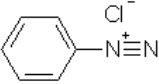
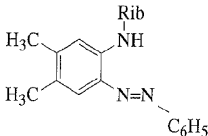
| Name (deutsch)                                       | Salzsäure 30 %                                                                                            | Natriumhydroxid-Lösung 50 %                                                                               | D(-)-Ribose                                                                                                            | Essigsäure 30 %                                                                                                  |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | 5 ml/m <sup>3</sup> bzw. 8 mg/m <sup>3</sup>                                                              | 8 mg/m <sup>3</sup> (Gesamtstaub)                                                                         | ---                                                                                                                    | 25 ml/m <sup>3</sup> bzw. 10 mg/m <sup>3</sup>                                                                   |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                                        |                                                                                                                  |
| EC 50                                                |                                                                                                           | 45,4 mg/l/96 h (Fischtoxizität); 76 mg/l/24 h (Dapnientox.) (jeweils wasserfreie Substanz)                |                                                                                                                        |                                                                                                                  |
| LC 50                                                | 3.124 ppm (V)/1 h (inhalativ, Ratte, bezogen auf Reinstoff)                                               |                                                                                                           |                                                                                                                        |                                                                                                                  |
| LD 50                                                |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                                        | 3.310 mg/kg (Ratte, oral); 1.060 mg/kg (Kaninchen dermal) (jeweils wasserfreie Substanz)                         |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | ---                                                                                                       | ---                                                                                                       | ---                                                                                                                    | ---                                                                                                              |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                                        |                                                                                                                  |
| akute Gesundheitsgefahren                            | mittel                                                                                                    | hoch                                                                                                      | vernachlässigbar                                                                                                       | mittel                                                                                                           |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | vernachlässigbar                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                                       | vernachlässigbar                                                                                                 |
| Umweltgefahren                                       | gering                                                                                                    | gering                                                                                                    | gering                                                                                                                 | gering                                                                                                           |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                                       | vernachlässigbar                                                                                                 |
| Gefahren durch das Freisetzungverhalten              | mittel                                                                                                    | gering                                                                                                    | vernachlässigbar                                                                                                       | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                             |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probenahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probenahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probenahme, Reinigung)              | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probenahme, Reinigung)        |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                                        |                                                                                                                  |
|                                                      | nicht fruchtschädigend bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte                                              | nicht fruchtschädigend bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte                                              | Unter physiologischen Bedingungen im Körper vorkommende Substanz. Gefährliche Eigenschaften sind wenig wahrscheinlich. | Zur Herstellung einer 22 %igen Natriumacetat-Lösung; analog zur Bilanzierung Daten für 30 % Essigsäure verwendet |

Tabelle 5-2: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung des Azo-Farbstoffes relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 2

|                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                |                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name (deutsch)                                                                                                    | 3,4-Xylidin                                                                                                                                                                    | Wasserstoff                                                                            | Natriumnitrit                                                                                                                                                                                                                                                              | Anilin                                                                                                                                                                             |
| Name (englisch)                                                                                                   | 3,4-Dimethylaniline                                                                                                                                                            | Hydrogen                                                                               | Sodium nitrite                                                                                                                                                                                                                                                             | Aniline                                                                                                                                                                            |
| Synonyme                                                                                                          | 3,4-Dimethylanilin, asym.-o-Xylidin                                                                                                                                            | Hydrogenium, Hydrogen                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                            | Aminobenzol, Phenylamin                                                                                                                                                            |
| CAS-Nr.                                                                                                           | 95-64-7                                                                                                                                                                        | 1333-74-0                                                                              | 7632-00-0                                                                                                                                                                                                                                                                  | 62-53-3                                                                                                                                                                            |
| Summenformel                                                                                                      | C <sub>8</sub> H <sub>11</sub> N                                                                                                                                               | H <sub>2</sub>                                                                         | NaNO <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                                                                                          | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>                                                                                                                                      |
| Strukturformel                                                                                                    |                                                                                               | ---                                                                                    | ---                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                 |
| Aggregatzustand                                                                                                   | fest                                                                                                                                                                           | gasförmig (verdichtet)                                                                 | fest                                                                                                                                                                                                                                                                       | flüssig                                                                                                                                                                            |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                    | ---                                                                                                                                                                            | ---                                                                                    | ---                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0,5 hPa                                                                                                                                                                            |
| Flammpunkt                                                                                                        | > 100°C                                                                                                                                                                        | -240°C                                                                                 | nicht anwendbar                                                                                                                                                                                                                                                            | 76°C                                                                                                                                                                               |
| Siedepunkt                                                                                                        | 226°C                                                                                                                                                                          | -252°C                                                                                 | 320°C                                                                                                                                                                                                                                                                      | 184°C                                                                                                                                                                              |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                           | giftig, umweltgefährlich                                                                                                                                                       | hochentzündlich                                                                        | brandfördernd, giftig, umweltgefährlich                                                                                                                                                                                                                                    | krebserzeugend, giftig, umweltgefährlich                                                                                                                                           |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                               |  T<br> N |  F+ |  O<br> T<br> N |  T<br> N |
| R-Sätze                                                                                                           | R 23/24/25-33-51/53                                                                                                                                                            | R12                                                                                    | R 8-25-50                                                                                                                                                                                                                                                                  | R 20/21/22-40-48/23/24/25-50                                                                                                                                                       |
| WGK                                                                                                               | 2 (wassergefährdend)                                                                                                                                                           | ---                                                                                    | 2 (wassergefährdend)                                                                                                                                                                                                                                                       | 2 (wassergefährdend)                                                                                                                                                               |
| Lagerklasse VCI                                                                                                   | 6.1 A (brennbare giftige Stoffe)                                                                                                                                               | 2 A (verdichtete, verflüssigte oder unter Druck gelöste Gase)                          | 5.1 B (entzündend wirkende Stoffe)                                                                                                                                                                                                                                         | 6.1 A (brennbare giftige Stoffe)                                                                                                                                                   |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                              | 3 (Starke Gifte)                                                                                                                                                               |                                                                                        | 2 (Sehr starke Gifte)                                                                                                                                                                                                                                                      | 3 (Starke Gifte)                                                                                                                                                                   |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                                                      | K: ---                                                                                                                                                                         | K: ---                                                                                 | K: ---                                                                                                                                                                                                                                                                     | K: 3                                                                                                                                                                               |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                                                      | M: ---                                                                                                                                                                         | M: ---                                                                                 | M:---                                                                                                                                                                                                                                                                      | M: 3                                                                                                                                                                               |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: fruchtschädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                                                                                             | Re: ---<br>Rf: ---                                                                     | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                                                                                                                                                                                         | Re: ---<br>Rf:---                                                                                                                                                                  |

| Name (deutsch)                                       | 3,4-Xylidin                                                                                                                                                                | Wasserstoff                                                                                                | Natriumnitrit                                                                                                                                     | Anilin                                                                                                     |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | 5 ml/m <sup>3</sup> bzw. 25 mg/m <sup>3</sup>                                                                                                                              | ---                                                                                                        | ---                                                                                                                                               | 2 ml/m <sup>3</sup> bzw. 7,7 mg/m <sup>3</sup>                                                             |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                                                   | 1 mg/l (Urin)<br>100 µg/l (Blut)                                                                           |
| EC 50                                                | 2,9 mg/l/24 h (Daphnientoxizität)                                                                                                                                          |                                                                                                            | 12,5 – 100 mg/l/48 h (Daphnientoxizität)                                                                                                          | 0,17 mg/l/48 h (Daphnientoxizität)                                                                         |
| LC 50                                                | ---                                                                                                                                                                        | 15.000 ml/m <sup>3</sup> (Ratte, inhalativ)                                                                |                                                                                                                                                   | 3,4 mg/l/4 h (Ratte, inhalativ)                                                                            |
| LD 50                                                | 812 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                                                                                    |                                                                                                            | 85 mg/kg (Ratte, oral)                                                                                                                            | 871 mg/kg (Ratte, oral)                                                                                    |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | 50.000 kg                                                                                                                                                                  | 10.000 kg                                                                                                  | 50.000 kg                                                                                                                                         | 50.000 kg                                                                                                  |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                                                   |                                                                                                            |
| akute Gesundheitsgefahren                            | hoch                                                                                                                                                                       | vernachlässigbar                                                                                           | hoch                                                                                                                                              | sehr hoch                                                                                                  |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | hoch                                                                                                                                                                       | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                                                                  | hoch                                                                                                       |
| Umweltgefahren                                       | sehr hoch                                                                                                                                                                  | vernachlässigbar                                                                                           | sehr hoch                                                                                                                                         | sehr hoch                                                                                                  |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                                                                                           | sehr hoch                                                                                                  | hoch                                                                                                                                              | vernachlässigbar                                                                                           |
| Gefahren durch das Freisetzungsverhalten             | vernachlässigbar                                                                                                                                                           | sehr hoch                                                                                                  | vernachlässigbar                                                                                                                                  | vernachlässigbar                                                                                           |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)                                                                 | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)                                        | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                                                   |                                                                                                            |
|                                                      | Hautresorptiver Stoff; nach Listen krebserzeugender Stoffe (BIA 2003; BIA 2003): N,N-Dimethylanilin K3 und R40; Xylidine (außer 2,4 und 2,6) nur R30 (wie bei MERCK, 2004) |                                                                                                            | Zugabe als wässrige Lösung; Annahme, dass diese aus wirtschaftlichen Gründen sowie des Know-hows und der Anlagentechnik vor Ort hergestellt wird. | Hautresorptiver Stoff                                                                                      |

Tabelle 5-3: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung des Azo-Farbstoffes relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 3

| Name (deutsch)                                                                     | Methanol                                                                                                                                                                       | Ribamin                                                                                                                                                     | Benzoldiazonium-chlorid-Lösung                                                     | Azo-Farbstoff                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name (englisch)                                                                    | methanol                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                             | benzene diazonium chloride                                                         |                                                                                                                                                        |
| Synonyme                                                                           | Methylalkohol                                                                                                                                                                  | Ribitylxyloidin; N-Ribityl-3,4-Xylidin; N-Ribitylamino-3,4-Xylidin; 3,4-Dimethylphenyl(1-deoxy-D-ribose-1-yl)amin; N-(3,4-dimethylphenyl)-D-1'-Ribitylamine | Benzoldiazoniumchlorid; Phenyl-diazoniumchlorid                                    | N-Ribitylamino-4,5-dimethyl-2-phenylazobenzol; 1-(D-Ribitylamino)-2-phenylazo-4,5-dimethylbenzol; N-(2-phenyl-azo-4,5-dimethylphenyl)-D-1'-Ribitylamin |
| CAS-Nr.                                                                            | 67-56-1                                                                                                                                                                        | k.A.                                                                                                                                                        | 100-34-5                                                                           | k.A.                                                                                                                                                   |
| Summenformel                                                                       | CH <sub>4</sub> O                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                             | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N <sub>2</sub> + Cl <sup>-</sup>                     |                                                                                                                                                        |
| Strukturformel                                                                     |                                                                                               |                                                                            |  |                                                                     |
| Aggregatzustand                                                                    | flüssig                                                                                                                                                                        | k.A.                                                                                                                                                        | k.A.                                                                               | k.A.                                                                                                                                                   |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                     | 128 hPa                                                                                                                                                                        | ---                                                                                                                                                         | ---                                                                                | ---                                                                                                                                                    |
| Flammpunkt                                                                         | 11°C                                                                                                                                                                           | k.A.                                                                                                                                                        | k.A.                                                                               | k.A.                                                                                                                                                   |
| Siedepunkt                                                                         | 64,5°C                                                                                                                                                                         | k.A.                                                                                                                                                        | k.A.                                                                               | k.A.                                                                                                                                                   |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                            | leicht entzündlich, giftig                                                                                                                                                     | k.A.                                                                                                                                                        | k.A.                                                                               | krebserzeugend (BIA 2004)                                                                                                                              |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                |  F<br> T | k.A.                                                                                                                                                        | k.A.                                                                               | k.A.                                                                                                                                                   |
| R-Sätze                                                                            | R 11-23/24/25-39/23/24/25                                                                                                                                                      | k.A.                                                                                                                                                        | k.A.                                                                               | R40/45 (Einstufung BIA auf Basis BIA 2004)                                                                                                             |
| WGK                                                                                | 1 (schwach wasser-gefährdend)                                                                                                                                                  | k.A.                                                                                                                                                        | k.A.                                                                               | k.A.                                                                                                                                                   |
| Lagerklasse VCI                                                                    | 3 A (entzündliche flüssige Stoffe)                                                                                                                                             | k.A.                                                                                                                                                        | k.A.                                                                               | k.A.                                                                                                                                                   |
| Giftklasse (Schweiz)                                                               | 3 (Starke Gifte)                                                                                                                                                               | k.A.                                                                                                                                                        | k.A.                                                                               | k.A.                                                                                                                                                   |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                       | K: ---                                                                                                                                                                         | K: k.A.                                                                                                                                                     | K: k.A.                                                                            | K: 1 oder 2 (BIA 2004)                                                                                                                                 |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                       | M: ---                                                                                                                                                                         | M: k.A.                                                                                                                                                     | M: k.A.                                                                            | M: k.A.                                                                                                                                                |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: Frucht; Rf: Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                                                                                             | Re: k.A.<br>Rf: k.A.                                                                                                                                        | Re: k.A.<br>Rf: k.A.                                                               | Re: k.A.<br>Rf: k.A.                                                                                                                                   |

| Name (deutsch)                                       | Methanol                                                                                                   | Ribamin                                                                                                            | Benzoldiazoniumchlorid-Lösung                                                                                                                                                                                                                                | Azo-Farbstoff                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | 200 ml/m <sup>3</sup> bzw. 270 mg/m <sup>3</sup>                                                           | k.A.                                                                                                               | k.A.                                                                                                                                                                                                                                                         | k.A.                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| BAT-Wert                                             | 30 mg/l (Urin)                                                                                             |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| EC 50                                                |                                                                                                            |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| LC 50                                                | 64.000 ml/m <sup>3</sup> (Ratte, inhalativ)                                                                |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| LD 50                                                | 5.628 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                  |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | 500.000 kg                                                                                                 | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                               | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                         | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                            |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| akute Gesundheitsgefahren                            | hoch                                                                                                       | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                               | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                         | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | gering                                                                                                     | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                               | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                         | sehr hoch                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Umweltgefahren                                       | gering                                                                                                     | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                               | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                         | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | hoch                                                                                                       | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                               | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                         | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Gefahren durch das Freisetzungsverhalten             | hoch                                                                                                       | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                               | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                         | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)                                                                                                                                                   | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)                                                                                                                                                                                                    |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                            |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                                                      | Hautresorptiv; keine Fruchtschädigung bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte zu erwarten                    | Zwischenprodukt; liegt als wässrige Suspension vor; keine weiteren Informationen verfügbar, da kein Handelsprodukt | unmittelbar weiterverarbeitetes Synthesewzwischenprodukt; trockenes Benzoldiazoniumchlorid kann durch Stoß oder Erhitzung zur Explosion gebracht werden; bei Lösungen keine Explosionsgefahr; keine weiteren Informationen verfügbar, da kein Handelsprodukt | Zwischenprodukt; keine R-Einstufung verfügbar, da kein Handelsprodukt; nicht Benzidin-haltig → K1 bzw. K2 (BIA 2004); der ebenfalls entstehende Isoazo-Farbstoff N-Ribitylamino-3,4-dimethyl-2-phenylazobenzol wird nicht separat betrachtet.; keine weiteren Informationen verfügbar, da kein Handelsprodukt |

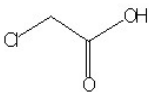
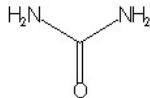
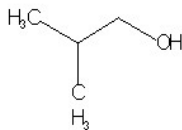
## 5.1.2.2 Herstellung der Barbitursäure

Tabelle 5-4: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung der Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 1

| Name (deutsch)                                                                                                    | Natriumhydroxid-Lösung 25 %                                                           | Natriumhydroxid-Lösung 50 %                                                           | Schwefelsäure 96 %                                                                     | Natriumcyanid                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name (englisch)                                                                                                   | Sodium hydroxide solution                                                             | Sodium hydroxide solution                                                             | Sulfuric acid                                                                          | Sodium cyanide                                                                                                                                                                      |
| Synonyme                                                                                                          | Natronlauge                                                                           | Natronlauge                                                                           |                                                                                        | Cyannatrium                                                                                                                                                                         |
| CAS-Nr.                                                                                                           | 1310-73-2 (fest)                                                                      | 1310-73-2 (fest)                                                                      | 7664-93-9                                                                              | 143-33-9                                                                                                                                                                            |
| Summenformel                                                                                                      | NaOH                                                                                  | NaOH                                                                                  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                                         | NaCN                                                                                                                                                                                |
| Strukturformel                                                                                                    | ---                                                                                   | ---                                                                                   | ---                                                                                    | $\text{N}\equiv\text{C}^- \quad \text{Na}^+$                                                                                                                                        |
| Aggregatzustand                                                                                                   | flüssig                                                                               | flüssig                                                                               | flüssig                                                                                | fest                                                                                                                                                                                |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                    | 2 hPa                                                                                 | 2 hPa                                                                                 | 0,0001 hPa                                                                             | ---                                                                                                                                                                                 |
| Flammpunkt                                                                                                        | nicht anwendbar                                                                       | nicht anwendbar                                                                       | nicht anwendbar                                                                        | nicht anwendbar                                                                                                                                                                     |
| Siedepunkt                                                                                                        | ca. 120°C                                                                             | 143°C                                                                                 | 310°C                                                                                  | 1496°C                                                                                                                                                                              |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                           | ätzend                                                                                | ätzend                                                                                | ätzend                                                                                 | sehr giftig, umweltgefährlich                                                                                                                                                       |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                               |  C |  C |  C |  T+<br> N |
| R-Sätze                                                                                                           | R35                                                                                   | R35                                                                                   | R 35                                                                                   | R 26/27/28-32-50/53                                                                                                                                                                 |
| WGK                                                                                                               | 1 (schwach wassergefährdend)                                                          | 1 (schwach wassergefährdend)                                                          | 1 (schwach wassergefährdend)                                                           | 3 (stark wassergefährdend)                                                                                                                                                          |
| Lagerklasse VCI                                                                                                   | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                  | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                  | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                   | 6.1 B (nicht brennbare giftige Stoffe)                                                                                                                                              |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                              | 2 (Sehr starke Gifte)                                                                 | 2 (Sehr starke Gifte)                                                                 | 2 (Sehr starke Gifte)                                                                  | 1 (Äußerst starke Gifte)                                                                                                                                                            |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                                                      | K: ---                                                                                | K: ---                                                                                | K: ---                                                                                 | K: ---                                                                                                                                                                              |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                                                      | M: ---                                                                                | M: ---                                                                                | M: ---                                                                                 | M: ---                                                                                                                                                                              |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: fruchtschädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                    | Re: ---<br>Rf: ---                                                                    | Re: ---<br>Rf: ---                                                                     | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                                                                                                  |

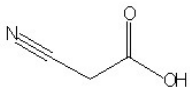
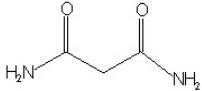
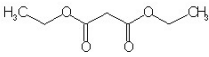
| Name (deutsch)                                       | Natriumhydroxid-Lösung 25 %                                                                                | Natriumhydroxid-Lösung 50 %                                                                                | Schwefelsäure 96 %                                                                                                                                                       | Natriumcyanid                                                                                              |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | 2 mg/m <sup>3</sup> (Gesamtstaub)                                                                          | 2 mg/m <sup>3</sup> (Gesamtstaub)                                                                          | 0,1 mg/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                    | 5 mg/m <sup>3</sup> (Gesamtstaub)                                                                          |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                            |
| EC 50                                                | 45,4 mg/l/96 h (Fischtoxizität); 76 mg/l/24 h (Dapnientox.)(jeweils wasserfreie Substanz)                  | 45,4 mg/l/96 h (Fischtoxizität); 76 mg/l/24 h (Dapnientox.)(jeweils wasserfreie Substanz)                  | 29 mg/l/24 h (Dapnientoxizität)                                                                                                                                          |                                                                                                            |
| LC 50                                                | 189 mg/l (Fischtoxizität)                                                                                  |                                                                                                            |                                                                                                                                                                          | 0,083 mg/l/96 h (Fischtoxizität: Lepomis macrochirus)                                                      |
| LD 50                                                |                                                                                                            |                                                                                                            | 510 mg/m <sup>3</sup> /2 h (inhalativ, Ratte)<br>2.140 mg/kg (oral, Ratte, 25 %ige Lsg.)                                                                                 | 6,4 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                    |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | ---                                                                                                        | ---                                                                                                        | ---                                                                                                                                                                      | 5.000 kg                                                                                                   |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                            |
| akute Gesundheitsgefahren                            | hoch                                                                                                       | hoch                                                                                                       | hoch                                                                                                                                                                     | sehr hoch                                                                                                  |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                                                                                         | vernachlässigbar                                                                                           |
| Umweltgefahren                                       | gering                                                                                                     | gering                                                                                                     | gering                                                                                                                                                                   | sehr hoch                                                                                                  |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                                                                                         | vernachlässigbar                                                                                           |
| Gefahren durch das Freisetzungsverhalten             | gering                                                                                                     | gering                                                                                                     | vernachlässigbar                                                                                                                                                         | vernachlässigbar                                                                                           |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)                                                               | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                            |
|                                                      | nicht fruchtschädigend bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte                                               | nicht fruchtschädigend bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte                                               | Annahme der Konzentration ausgehend von der für die Lebensmittelproduktion im Handel befindlichen Produkte; nicht fruchtschädigend bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte | wird als wässrige 28 %ige Lösung zugegeben; Annahme: Erstellen der Lösung vor Ort                          |

Tabelle 5-5: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung der Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 2

| Name (deutsch)                                                                                                     | Chloressigsäure                                                                                                                                                                | Harnstoff                                                                         | Isobutanol                                                                              | Methanol                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name (englisch)                                                                                                    | chloroacetic acid                                                                                                                                                              | urea                                                                              | isobutyl alcohol                                                                        | methanol                                                                                                                                                                           |
| Synonyme                                                                                                           | Monochloressigsäure                                                                                                                                                            | Carbamid, Carbonyldiamid                                                          | Isobutylalkohol, iso-Butanol, 2-Methyl-1-propanol                                       | Methylalkohol                                                                                                                                                                      |
| CAS-Nr.                                                                                                            | 79-11-8                                                                                                                                                                        | 57-13-6                                                                           | 78-83-1                                                                                 | 67-56-1                                                                                                                                                                            |
| Summenformel                                                                                                       | $C_2H_3ClO_2$                                                                                                                                                                  | $CH_4N_2O$                                                                        | $C_4H_{10}O$                                                                            | $CH_4O$                                                                                                                                                                            |
| Strukturformel                                                                                                     |                                                                                               |  |       |                                                                                                 |
| Aggregatzustand                                                                                                    | fest                                                                                                                                                                           | fest                                                                              | flüssig                                                                                 | flüssig                                                                                                                                                                            |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                     | ---                                                                                                                                                                            | ---                                                                               | 10,6 hPa                                                                                | 128 hPa                                                                                                                                                                            |
| Flammpunkt                                                                                                         | 126°C                                                                                                                                                                          | nicht anwendbar                                                                   | 28°C                                                                                    | 11°C                                                                                                                                                                               |
| Siedepunkt                                                                                                         | 189°C                                                                                                                                                                          | Zersetzung unterhalb                                                              | 106°C                                                                                   | 64,5°C                                                                                                                                                                             |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                            | giftig, ätzend, umweltgefährlich                                                                                                                                               | ---                                                                               | entzündlich, reizend                                                                    | leicht entzündlich, giftig                                                                                                                                                         |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                                |  T<br> N | ---                                                                               |  Xi |  F<br> T |
| R-Sätze                                                                                                            | R 25-34-50                                                                                                                                                                     | ---                                                                               | R 10-37/38-41-67                                                                        | R 11-23/24/25-39/23/24/25                                                                                                                                                          |
| WGK                                                                                                                | 2 (wassergefährdend)                                                                                                                                                           | 1 (schwach wassergefährdend)                                                      | 1 (schwach wassergefährdend)                                                            | 1 (schwach wassergefährdend)                                                                                                                                                       |
| Lagerklasse VCI                                                                                                    | 6.1 A (brennbare giftige Stoffe)                                                                                                                                               | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                     |                                                                                         | 3 A (entzündliche flüssige Stoffe)                                                                                                                                                 |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                               | 3 (Starke Gifte)                                                                                                                                                               | 5 (Stoffe und Erzeugnisse mit geringster Gefährlichkeit)                          | 4 (Nicht unbedenkliche Stoffe und Erzeugnisse)                                          | 3 (Starke Gifte)                                                                                                                                                                   |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                                                       | K: ---                                                                                                                                                                         | K: ---                                                                            | K: ---                                                                                  | K: ---                                                                                                                                                                             |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                                                       | M: ---                                                                                                                                                                         | M: ---                                                                            | M: ---                                                                                  | M: ---                                                                                                                                                                             |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: frucht-schädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                                                                                             | Re: ---<br>Rf: ---                                                                | Re: ---<br>Rf: ---                                                                      | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                                                                                                 |

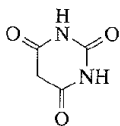
| Name (deutsch)                                       | Chloressigsäure                                                                                            | Harnstoff                                                                                                  | Isobutanol                                                                                                 | Methanol                                                                                                   |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | 1 ml/m <sup>3</sup> bzw. 4 mg/m <sup>3</sup>                                                               | ---                                                                                                        | 100 ml/m <sup>3</sup> bzw. 310 mg/m <sup>3</sup>                                                           | 200 ml/m <sup>3</sup> bzw. 270 mg/m <sup>3</sup>                                                           |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            | 30 mg/l (Urin)                                                                                             |
| EC 50                                                | 77-88 mg/l/48 h (Daphnientoxizität)                                                                        | >10.000 mg/l/24 h (Daphnientoxizität)                                                                      | 1.439 mg/l/48 h (Daphnientoxizität)                                                                        |                                                                                                            |
| LC 50                                                | 180 mg/m <sup>3</sup> (inhalativ, Ratte)                                                                   |                                                                                                            | >24 mg/l/4 h (inhalativ, Ratte)                                                                            | 64.000 ml/m <sup>3</sup> (inhalativ, Ratte)                                                                |
| LD 50                                                | 90,4 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                   | 8.471 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                  | >2.830 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                 | 5.628 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                  |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | 50.000 kg                                                                                                  | ---                                                                                                        | 50.000 kg                                                                                                  | 500.000 kg                                                                                                 |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |
| akute Gesundheitsgefahren                            | hoch                                                                                                       | vernachlässigbar                                                                                           | gering                                                                                                     | hoch                                                                                                       |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | gering                                                                                                     |
| Umweltgefahren                                       | sehr hoch                                                                                                  | gering                                                                                                     | gering                                                                                                     | gering                                                                                                     |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | mittel                                                                                                     | hoch                                                                                                       |
| Gefahren durch das Freisetzungsverhalten             | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | mittel                                                                                                     | hoch                                                                                                       |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |
|                                                      | Hautresorptiv                                                                                              | keine Fruchtschädigung bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte zu erwarten                                   |                                                                                                            | Hautresorptiv; keine Fruchtschädigung bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte zu erwarten                    |

Tabelle 5-6: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung der Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 3

| Name (deutsch)                                                                                                    | Wasserstoff-Cyanid                                                                                                                                                                                                                                                        | Cyanessigsäure                                                                        | Malonsäurediamid                                                                   | Malonsäurediethylester                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Name (englisch)                                                                                                   | Hydrogen Cyanide                                                                                                                                                                                                                                                          | Cyanoacetic Acid                                                                      | Malonic acid diamide                                                               |                                                                                     |
| Synonyme                                                                                                          | Blausäure                                                                                                                                                                                                                                                                 | Malonsäuremononitril                                                                  | <b>Malonamid</b>                                                                   | Diethylmalonat, Ethylmalonat, Malonester                                            |
| CAS-Nr.                                                                                                           | 74-09-8                                                                                                                                                                                                                                                                   | 372-09-8                                                                              | 108-13-4                                                                           | 105-53-3                                                                            |
| Summenformel                                                                                                      | HCN                                                                                                                                                                                                                                                                       | C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> NO <sub>2</sub>                                         | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>                        | C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>                                       |
| Strukturformel                                                                                                    | $\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$                                                                                                                                                                                                                                         |      |  |  |
| Aggregatzustand                                                                                                   | flüssig                                                                                                                                                                                                                                                                   | fest                                                                                  | fest                                                                               | fest                                                                                |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                    | 830 hPa                                                                                                                                                                                                                                                                   | ---                                                                                   | ---                                                                                | ---                                                                                 |
| Flammpunkt                                                                                                        | -18°C                                                                                                                                                                                                                                                                     | 107°C                                                                                 | k.A.                                                                               | 93°C                                                                                |
| Siedepunkt                                                                                                        | 25,70°C                                                                                                                                                                                                                                                                   | 108°C                                                                                 | k.A.                                                                               | 190°C                                                                               |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                           | hochentzündlich, sehr giftig, umweltgefährlich                                                                                                                                                                                                                            | gesundheitsschädlich, ätzend, umweltgefährlich                                        | ---                                                                                | ---                                                                                 |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                               |  T+<br> N<br> F+ |  C | ---                                                                                | ---                                                                                 |
| R-Sätze                                                                                                           | R12-26-50/53                                                                                                                                                                                                                                                              | R 20/22-34-37-52/53                                                                   | ---                                                                                | ---                                                                                 |
| WGK                                                                                                               | 3 (stark wassergefährdend)                                                                                                                                                                                                                                                | 2 (wassergefährdend)                                                                  | ---                                                                                | 1 (schwach wassergefährdend)                                                        |
| Lagerklasse VCI                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                           | 8 A (brennbare ätzende Stoffe)                                                        | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                      | 10 (brennbare Flüssigkeiten, soweit nicht LGK 3 A oder LGK 3 B)                     |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                           | 3 (Starke Gifte)                                                                      | ---                                                                                | 4 (Nicht unbedenkliche Stoffe und Erzeugnisse)                                      |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                                                      | K: ---                                                                                                                                                                                                                                                                    | K: ---                                                                                | K: ---                                                                             | K: ---                                                                              |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                                                      | M: ---                                                                                                                                                                                                                                                                    | M: ---                                                                                | M: ---                                                                             | M: ---                                                                              |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: fruchtschädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                                                                                                                                                                                        | Re: ---<br>Rf: ---                                                                    | Re: ---<br>Rf: ---                                                                 | Re: ---<br>Rf: ---                                                                  |

| Name (deutsch)                                       | Wasserstoff-Cyanid                                                                                         | Cyanessigsäure                                                                                                                | Malonsäurediamid                                                                                                                        | Malonsäurediethylester                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | 10 ml/m <sup>3</sup> bzw. 11 mg/m <sup>3</sup>                                                             | ---                                                                                                                           | ---                                                                                                                                     | ---                                                                                                                                                            |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                            |                                                                                                                               |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                |
| EC 50                                                |                                                                                                            | 49,2 mg/l/48 h (Dapnientoxizität)                                                                                             |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                |
| LC 50                                                | 63 ppm/40 min (inhalativ, Ratte)                                                                           | 7,6 mg/l/4 h (inhalativ, Ratte)                                                                                               |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                |
| LD 50                                                | 10 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                     | 1500 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                                      | 6000 mg/kg (oral, Maus)                                                                                                                 | 16.000 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                                                                     |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | 5.000 kg                                                                                                   | ---                                                                                                                           | ---                                                                                                                                     | ---                                                                                                                                                            |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                            |                                                                                                                               |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                |
| akute Gesundheitsgefahren                            | sehr hoch                                                                                                  | mittel                                                                                                                        | vernachlässigbar                                                                                                                        | vernachlässigbar                                                                                                                                               |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                                              | vernachlässigbar                                                                                                                        | vernachlässigbar                                                                                                                                               |
| Umweltgefahren                                       | sehr hoch                                                                                                  | mittel                                                                                                                        | vernachlässigbar                                                                                                                        | gering                                                                                                                                                         |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | sehr hoch                                                                                                  | vernachlässigbar                                                                                                              | vernachlässigbar                                                                                                                        | gering                                                                                                                                                         |
| Gefahren durch das Freisetzungverhalten              | sehr hoch                                                                                                  | vernachlässigbar                                                                                                              | vernachlässigbar                                                                                                                        | vernachlässigbar                                                                                                                                               |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)                    | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)                              | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)                                                     |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                            |                                                                                                                               |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                |
|                                                      | Entsteht in Spuren bei der Herstellung der Natrium-Cyanidessigsäure; hautresorptiv                         | Natriumcyanacetat, (Sodium cyanoacetate), das Natriumsalz der Cyanessigsäure, ist Zwischenprodukt der Malonester-Herstellung; | Malonsäureester-monoamid ist Zwischenprodukt der Malonsäurediethylester-Produktion; keine Angaben dazu, deswegen hier Angaben zu Diamid | angenehm riechende farblose Flüssigkeit; sehr wenig löslich in Wasser; reizt Augen und Haut; Dämpfe sind narkotisierend sowie reizend für Augen und Atemorgane |

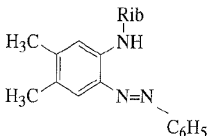
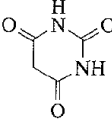
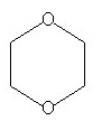
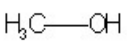
Tabelle 5-7: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Herstellung der Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 4

|                                                                                                                   |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                                                                                                                |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Name (deutsch)                                                                                                    | Barbitursäure                                                                      | Ammoniak 13 %                                                                         | Methanol                                                                                                                                                                       | --- |
| Name (englisch)                                                                                                   | barbituric acid                                                                    | ammonia                                                                               | methanol                                                                                                                                                                       |     |
| Synonyme                                                                                                          | N,N'-Malonylharnstoff;<br>Hexahydropyrimidin-<br>2,4,6-trion; 4-Hydroxy-<br>uracil |                                                                                       | Methylalkohol                                                                                                                                                                  |     |
| CAS-Nr.                                                                                                           | 67-52-7                                                                            | 1336-21-6                                                                             | 67-56-1                                                                                                                                                                        |     |
| Summenformel                                                                                                      | C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                        | NH <sub>3</sub>                                                                       | CH <sub>4</sub> O                                                                                                                                                              |     |
| Strukturformel                                                                                                    |   | ---                                                                                   | $\text{H}_3\text{C}-\text{OH}$                                                                                                                                                 |     |
| Aggregatzustand                                                                                                   | fest                                                                               | flüssig                                                                               | flüssig                                                                                                                                                                        |     |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                    | ---                                                                                | 483 hPa (25-%ige Lösung)                                                              | 128 hPa                                                                                                                                                                        |     |
| Flammpunkt                                                                                                        | k.A.                                                                               | nicht anwendbar                                                                       | 11°C                                                                                                                                                                           |     |
| Siedepunkt                                                                                                        | k.A.                                                                               | k.A.                                                                                  | 64,5°C                                                                                                                                                                         |     |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                           | ---                                                                                | ätzend                                                                                | leicht entzündlich, giftig                                                                                                                                                     |     |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                               | ---                                                                                |  C |  F<br> T |     |
| R-Sätze                                                                                                           | ---                                                                                | R34                                                                                   | R 11-23/24/25-39/23/24/25                                                                                                                                                      |     |
| WGK                                                                                                               | 1 (schwach wasser-gefährdend)                                                      | 2 (wassergefährdend)                                                                  | 1 (schwach wasser-gefährdend)                                                                                                                                                  |     |
| Lagerklasse VCI                                                                                                   | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                      |                                                                                       | 3 A (entzündliche flüssige Stoffe)                                                                                                                                             |     |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                              | ---                                                                                |                                                                                       | 3 (Starke Gifte)                                                                                                                                                               |     |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                                                      | K: ---                                                                             | K: ---                                                                                | K: ---                                                                                                                                                                         |     |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                                                      | M: ---                                                                             | M: ---                                                                                | M: ---                                                                                                                                                                         |     |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: fruchtschädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                 | Re: ---<br>Rf: ---                                                                    | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                                                                                             |     |

| Name (deutsch)                                       | Barbitursäure                                                                                              | Ammoniak 13 %                                                                                              | Methanol                                                                                                   | --- |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | ---                                                                                                        | 50 ml/m <sup>3</sup> bzw. 35 mg/m <sup>3</sup>                                                             | 200 ml/m <sup>3</sup> bzw. 270 mg/m <sup>3</sup>                                                           |     |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                            |                                                                                                            | 30 mg/l (Urin)                                                                                             |     |
| EC 50                                                |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |     |
| LC 50                                                |                                                                                                            | 0,16 – 1,1 mg/l/96 h (Fischtoxizität, <i>Onco-rhynchus mykiss</i> )                                        | 64.000 ml/m <sup>3</sup> (Ratte, inhalativ)                                                                |     |
| LD 50                                                |                                                                                                            |                                                                                                            | 5.628 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                  |     |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | ---                                                                                                        | ---                                                                                                        | 500.000 kg                                                                                                 |     |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |     |
| akute Gesundheitsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                           | mittel                                                                                                     | hoch                                                                                                       |     |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | gering                                                                                                     |     |
| Umweltgefahren                                       | gering                                                                                                     | mittel                                                                                                     | gering                                                                                                     |     |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | hoch                                                                                                       |     |
| Gefahren durch das Freisetzungverhalten              | vernachlässigbar                                                                                           | sehr hoch                                                                                                  | hoch                                                                                                       |     |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) |     |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |     |
|                                                      | kein Gefahrstoff im Sinne der RL 67/548/EWG; Derivate wirken sedativ-hypnotisch                            | keine Fruchtschädigung bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte zu erwarten                                   | Hautresorptiv; keine Fruchtschädigung bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte zu erwarten                    |     |

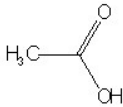
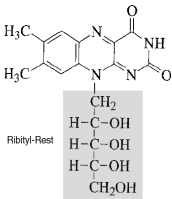
## 5.1.2.3 Herstellung von Riboflavin aus Azo-Farbstoff und Barbitursäure

Tabelle 5-8: Informationen zu bei der Synthese von Riboflavin aus Azo-Farbstoff und Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 1

| Name (deutsch)                                                         | Azo-Farbstoff                                                                                     | Barbitursäure                                                                     | 1,4-Dioxan                                                                                                                                                                        | Methanol                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name (englisch)                                                        |                                                                                                   | barbituric acid                                                                   | 1,4-dioxan                                                                                                                                                                        | methanol                                                                                                                                                                           |
| Synonyme                                                               | N-Ribitylamino-4,5-dimethyl-2-phenylazo-benzol; 1-(D-Ribitylamino)-2-phenylazo-4,5-dimethylbenzol | N,N'-Malonylharnstoff; Hexahydropyrimidin-2,4,6-trion; 4-Hydroxyuracil            | Glycolethylether, 1,4-Diethyldioxyd, 1,4-Dioxa-cyclohexan                                                                                                                         | Methylalkohol                                                                                                                                                                      |
| CAS-Nr.                                                                | k.A.                                                                                              | 67-52-7                                                                           | 123-91-1                                                                                                                                                                          | 67-56-1                                                                                                                                                                            |
| Summenformel                                                           |                                                                                                   | C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                       | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>                                                                                                                                      | CH <sub>4</sub> O                                                                                                                                                                  |
| Strukturformel                                                         |                  |  |                                                                                                 |                                                                                                 |
| Aggregatzustand                                                        | k.A.                                                                                              | fest                                                                              | flüssig                                                                                                                                                                           | flüssig                                                                                                                                                                            |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                         | ---                                                                                               | ---                                                                               | 41 hPa                                                                                                                                                                            | 128 hPa                                                                                                                                                                            |
| Flammpunkt                                                             | k.A.                                                                                              | k.A.                                                                              | 11°C                                                                                                                                                                              | 11°C                                                                                                                                                                               |
| Siedepunkt                                                             | k.A.                                                                                              | k.A.                                                                              | 101,5°C                                                                                                                                                                           | 64,5°C                                                                                                                                                                             |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                | krebserzeugend (BIA 2004)                                                                         | ---                                                                               | leicht entzündlich, reizend, krebserzeugend                                                                                                                                       | leicht entzündlich, giftig                                                                                                                                                         |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                    | k.A.                                                                                              | ---                                                                               |  F<br> Xn |  F<br> T |
| R-Sätze                                                                | R40/45 (Einstufung BIfA auf Basis BIA 2004)                                                       | ---                                                                               | R 11-19-36/37-40-66                                                                                                                                                               | R 11-23/24/25-39/23/24/25                                                                                                                                                          |
| WGK                                                                    | k.A.                                                                                              | 1 (schwach wassergefährdend)                                                      | 2 (wassergefährdend)                                                                                                                                                              | 1 (schwach wassergefährdend)                                                                                                                                                       |
| Lagerklasse VCI                                                        | k.A.                                                                                              | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                     | 3 A (entzündliche flüssige Stoffe)                                                                                                                                                | 3 A (entzündliche flüssige Stoffe)                                                                                                                                                 |
| Giftklasse (Schweiz)                                                   | k.A.                                                                                              | ---                                                                               | 4 (Nicht unbedenkliche Stoffe und Erzeugnisse)                                                                                                                                    | 3 (Starke Gifte)                                                                                                                                                                   |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                           | K: 1 oder 2                                                                                       | K: ---                                                                            | K: 3                                                                                                                                                                              | K: ---                                                                                                                                                                             |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                           | M: k.A.                                                                                           | M: ---                                                                            | M: ---                                                                                                                                                                            | M: ---                                                                                                                                                                             |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften; Re: Frucht Rf: Fruchtbarkeit) | Re: k.A.<br>Rf: k.A.                                                                              | Re: ---<br>Rf: ---                                                                | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                                                                                                | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                                                                                                 |

| Name (deutsch)                                       | Azo-Farbstoff                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Barbitursäure                                                                                              | 1,4-Dioxan                                                                                                 | Methanol                                                                                                   |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | k.A.                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ---                                                                                                        | 20 ml/m <sup>3</sup> bzw. 73 mg/m <sup>3</sup>                                                             | 200 ml/m <sup>3</sup> bzw. 270 mg/m <sup>3</sup>                                                           |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                            |                                                                                                            | 30 mg/l (Urin)                                                                                             |
| EC 50                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |
| LC 50                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                            | 48,5 – 54,3 ml/m <sup>3</sup> (Ratte, inhalativ)                                                           | 64.000 ml/m <sup>3</sup> (Ratte, inhalativ)                                                                |
| LD 50                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                            | 5.200 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                  | 5.628 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                  |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                                                                          | ---                                                                                                        | 5.000.000 kg                                                                                               | 500.000 kg                                                                                                 |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |
| akute Gesundheitsgefahren                            | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                           | gering                                                                                                     | hoch                                                                                                       |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | sehr hoch                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | vernachlässigbar                                                                                           | hoch                                                                                                       | gering                                                                                                     |
| Umweltgefahren                                       | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                                                                          | gering                                                                                                     | mittel                                                                                                     | gering                                                                                                     |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                           | hoch                                                                                                       | hoch                                                                                                       |
| Gefahren durch das Freisetzungverhalten              | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                                                                                                                                                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                           | mittel                                                                                                     | hoch                                                                                                       |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)                                                                                                                                                                                                    | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |
|                                                      | Zwischenprodukt; keine R-Einstufung verfügbar, da kein Handelsprodukt; nicht Benzidin-haltig → K1 bzw. K2 (BIA 2004); der ebenfalls entstehende Isoazo-Farbstoff N-Ribitylamino-3,4-dimethyl-2-phenylazobenzol wird nicht separat betrachtet.; keine weiteren Informationen verfügbar, da kein Handelsprodukt | Farblose, bitter schmeckende Prismen, die wenig wasserlöslich sind; Derivate wirken sedativ-hypnotisch     | Hautresorptiv; wird als Lösemittel eingesetzt und im Kreisgefahren                                         | Hautresorptiv; keine Fruchtschädigung bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte zu erwarten                    |

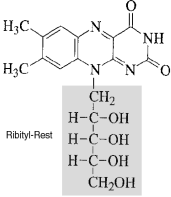
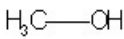
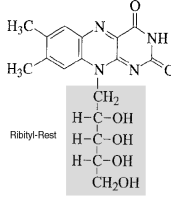
Tabelle 5-9: Informationen zu den im Zusammenhang mit der Synthese von Riboflavin aus Azo-Farbstoff und Barbitursäure relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 2

|                                                                                                                   |                                                                                       |                                                                                   |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| Name (deutsch)                                                                                                    | Essigsäure 30 %                                                                       | Riboflavin 96 %                                                                   |  |  |
| Name (englisch)                                                                                                   | Acetic acid                                                                           | riboflavine                                                                       |  |  |
| Synonyme                                                                                                          |                                                                                       | Vitamin B2, Lactoflavin                                                           |  |  |
| CAS-Nr.                                                                                                           | 64-19-7                                                                               | 83-88-5                                                                           |  |  |
| Summenformel                                                                                                      | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>                                          | C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> N <sub>4</sub> O <sub>6</sub>                     |  |  |
| Strukturformel                                                                                                    |      |  |  |  |
| Aggregatzustand                                                                                                   | flüssig                                                                               | fest                                                                              |  |  |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                    | k.A.                                                                                  | ---                                                                               |  |  |
| Flammpunkt                                                                                                        | k.A.                                                                                  | nicht anwendbar                                                                   |  |  |
| Siedepunkt                                                                                                        | 101°C                                                                                 | nicht verfügbar                                                                   |  |  |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                           | ätzend                                                                                | ---                                                                               |  |  |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                               |  C | ---                                                                               |  |  |
| R-Sätze                                                                                                           | R34                                                                                   | ---                                                                               |  |  |
| WGK                                                                                                               | 1 (schwach wassergefährdend)                                                          | nwg (nicht wassergefährdend)                                                      |  |  |
| Lagerklasse VCI                                                                                                   | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                  | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                     |  |  |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                              | 3 (Starke Gifte)                                                                      | F (Giftklassenfrei)                                                               |  |  |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                                                      | K: ---                                                                                | K: ---                                                                            |  |  |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                                                      | M: ---                                                                                | M: ---                                                                            |  |  |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: fruchtschädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                    | Re: ---<br>Rf: ---                                                                |  |  |

| Name (deutsch)                                       | Essigsäure 30 %                                                                                                  | Riboflavin 96 %                                                                                            |  |  |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | 25 ml/m <sup>3</sup> bzw. 10 mg/m <sup>3</sup>                                                                   | ---                                                                                                        |  |  |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                                  |                                                                                                            |  |  |
| EC 50                                                |                                                                                                                  | >47,4 mg/l/48 h (Daphnientoxizität)                                                                        |  |  |
| LC 50                                                |                                                                                                                  | >5,4 mg/l/4 h (Ratte, inhalativ)                                                                           |  |  |
| LD 50                                                | 3.310 mg/kg (Ratte, oral); 1.060 mg/kg (Kaninchen dermal) (jeweils wasserfreie Substanz)                         | > 10.000 mg/kg (oral, Ratte)                                                                               |  |  |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | ---                                                                                                              | ---                                                                                                        |  |  |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                                  |                                                                                                            |  |  |
| akute Gesundheitsgefahren                            | mittel                                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           |  |  |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | vernachlässigbar                                                                                                 | vernachlässigbar                                                                                           |  |  |
| Umweltgefahren                                       | gering                                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           |  |  |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                                 | vernachlässigbar                                                                                           |  |  |
| Gefahren durch das Freisetzungsverhalten             | keine Einstufung wg. fehlender Daten                                                                             | vernachlässigbar                                                                                           |  |  |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)       | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) |  |  |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                                  |                                                                                                            |  |  |
|                                                      | Zur Herstellung einer 22 %igen Natriumacetat-Lösung; analog zur Bilanzierung Daten für 30 % Essigsäure verwendet | Kein Gefahrstoff im Sinne RL 67/548/EWG                                                                    |  |  |

## 5.1.2.4 Aufkonzentration des Riboflavins auf über 98 Gew.-%

Tabelle 5-10: Informationen zu den bei der Aufkonzentration von Riboflavin auf über 98 % relevanten Stoffen (chemisch-technische Riboflavin-Herstellung) – Teil 1

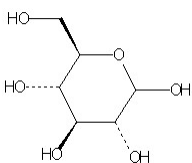
| Name (deutsch)                                                                                                    | Riboflavin 96 %                                                                   | Salzsäure 24 %                                                                         | Methanol                                                                                                                                                                         | Riboflavin 98 %                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Name (englisch)                                                                                                   | riboflavine                                                                       | Hydrochloric acid                                                                      | Methanol                                                                                                                                                                         | riboflavine                                                                         |
| Synonyme                                                                                                          | Vitamin B2, Lactoflavin                                                           | Hydrogenchlorid, Chlorwasserstoff                                                      | Methylalkohol                                                                                                                                                                    | Vitamin B2, Lactoflavin                                                             |
| CAS-Nr.                                                                                                           | 83-88-5                                                                           | 7647-01-0 (konz.)                                                                      | 67-56-1                                                                                                                                                                          | 83-88-5                                                                             |
| Summenformel                                                                                                      | C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> N <sub>4</sub> O <sub>6</sub>                     | HCl                                                                                    | CH <sub>4</sub> O                                                                                                                                                                | C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> N <sub>4</sub> O <sub>6</sub>                       |
| Strukturformel                                                                                                    |  | ---                                                                                    |                                                                                                |  |
| Aggregatzustand                                                                                                   | fest                                                                              | flüssig                                                                                | flüssig                                                                                                                                                                          | fest                                                                                |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                    | ---                                                                               | 21,8 hPa                                                                               | 128 hPa                                                                                                                                                                          | ---                                                                                 |
| Flammpunkt                                                                                                        | nicht anwendbar                                                                   | nicht anwendbar                                                                        | 11°C                                                                                                                                                                             | nicht anwendbar                                                                     |
| Siedepunkt                                                                                                        | nicht verfügbar                                                                   | 90°C                                                                                   | 64,5°C                                                                                                                                                                           | nicht verfügbar                                                                     |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                           | ---                                                                               | reizend                                                                                | leicht entzündlich, giftig                                                                                                                                                       | ---                                                                                 |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                               | ---                                                                               |  Xi |  F<br> T | ---                                                                                 |
| R-Sätze                                                                                                           | ---                                                                               | R36/37/38                                                                              | R 11-23/24/25-39/23/24/25                                                                                                                                                        | ---                                                                                 |
| WGK                                                                                                               | nwg (nicht wassergefährdend)                                                      | 1 (schwach wassergefährdend)                                                           | 1 (schwach wassergefährdend)                                                                                                                                                     | nwg (nicht wassergefährdend)                                                        |
| Lagerklasse VCI                                                                                                   | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                     | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                   | 3 A (entzündliche flüssige Stoffe)                                                                                                                                               | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                       |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                              | F (Giftklassenfrei)                                                               | 2 (Sehr starke Gifte)                                                                  | 3 (Starke Gifte)                                                                                                                                                                 | F (Giftklassenfrei)                                                                 |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                                                      | K: ---                                                                            | K: ---                                                                                 | K: ---                                                                                                                                                                           | K: ---                                                                              |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                                                      | M: ---                                                                            | M: ---                                                                                 | M: ---                                                                                                                                                                           | M: ---                                                                              |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: fruchtschädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                | Re: ---<br>Rf: ---                                                                     | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                                                                                               | Re: ---<br>Rf: ---                                                                  |

| Name (deutsch)                                       | Riboflavin 96 %                                                                                            | Salzsäure 24 %                                                                                             | Methanol                                                                                                   | Riboflavin 98 %                                                                                            |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | ---                                                                                                        | 5 ml/m <sup>3</sup> bzw. 8 mg/m <sup>3</sup>                                                               | 200 ml/m <sup>3</sup> bzw. 270 mg/m <sup>3</sup>                                                           | ---                                                                                                        |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                            |                                                                                                            | 30 mg/l (Urin)                                                                                             |                                                                                                            |
| EC 50                                                | >47,4 mg/l/48 h (Daphnientoxizität)                                                                        |                                                                                                            |                                                                                                            | >47,4 mg/l/48 h (Daphnientoxizität)                                                                        |
| LC 50                                                | >5,4 mg/l/4 h (Ratte, inhalativ)                                                                           | 3.124 ppm (V)/1 h (inhalativ, Ratte, bezogen auf Reinstanz)                                                | 64.000 ml/m <sup>3</sup> (Ratte, inhalativ)                                                                | >5,4 mg/l/4 h (Ratte, inhalativ)                                                                           |
| LD 50                                                | > 10.000 mg/kg (oral, Ratte)                                                                               |                                                                                                            | 5.628 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                  | > 10.000 mg/kg (oral, Ratte)                                                                               |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | ---                                                                                                        | ---                                                                                                        | 500.000 kg                                                                                                 | ---                                                                                                        |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |
| akute Gesundheitsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                           | gering                                                                                                     | hoch                                                                                                       | vernachlässigbar                                                                                           |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | gering                                                                                                     | vernachlässigbar                                                                                           |
| Umweltgefahren                                       | vernachlässigbar                                                                                           | gering                                                                                                     | gering                                                                                                     | vernachlässigbar                                                                                           |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | hoch                                                                                                       | vernachlässigbar                                                                                           |
| Gefahren durch das Freisetzungverhalten              | vernachlässigbar                                                                                           | mittel                                                                                                     | hoch                                                                                                       | vernachlässigbar                                                                                           |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |
|                                                      | Kein Gefahrstoff im Sinne RL 67/548/EWG                                                                    | nicht fruchtschädigend bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte                                               | Hautresorptiv; keine Fruchtschädigung bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte zu erwarten                    | Kein Gefahrstoff im Sinne RL 67/548/EWG                                                                    |

### 5.1.3 Biotechnische Riboflavin-Produktion

#### 5.1.3.1 Fermentation und Gewinnung von Riboflavin (mind. 96 Gew. %)

Tabelle 5-11: Informationen zu den bei der biotechnischen Herstellung von Riboflavin aus Glucose relevanten Stoffen (biotechnische Riboflavin-Herstellung) – Teil 1

| Name (deutsch)                                                                                                    | Glucose                                                                            | Natriumhydroxid-Lösung 25 %                                                           | Ammoniak 13 %                                                                          | Hefeextrakt                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Name (englisch)                                                                                                   | glucose                                                                            | Sodium hydroxide solution                                                             | ammonia                                                                                | yeast extract                                 |
| Synonyme                                                                                                          | Dextrose, Traubenzucker                                                            | Natronlauge                                                                           |                                                                                        |                                               |
| CAS-Nr.                                                                                                           | 50-99-7                                                                            | 1310-73-2 (fest)                                                                      | 1336-21-6                                                                              |                                               |
| Summenformel                                                                                                      | $C_6H_{12}O_6$                                                                     | NaOH                                                                                  | $NH_3$                                                                                 |                                               |
| Strukturformel                                                                                                    |  | ---                                                                                   | ---                                                                                    | ---                                           |
| Aggregatzustand                                                                                                   | fest                                                                               | flüssig                                                                               | flüssig                                                                                | fest                                          |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                    | ---                                                                                | 2 hPa                                                                                 | 483 mbar (25-%ige Lösung)                                                              | ---                                           |
| Flammpunkt                                                                                                        | nicht verfügbar                                                                    | nicht anwendbar                                                                       | nicht anwendbar                                                                        | k.A.                                          |
| Siedepunkt                                                                                                        | nicht verfügbar                                                                    | ca. 120°C                                                                             | k.A.                                                                                   | k.A.                                          |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                           | ---                                                                                | ätzend                                                                                | ätzend                                                                                 | ---                                           |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                               | ---                                                                                |  C |  C | ---                                           |
| R-Sätze                                                                                                           | ---                                                                                | R35                                                                                   | R34                                                                                    | ---                                           |
| WGK                                                                                                               | nwg (nicht wassergefährdend)                                                       | 1 (schwach wassergefährdend)                                                          | 2 (wassergefährdend)                                                                   | nwg (nicht wassergefährdend)                  |
| Lagerklasse VCI                                                                                                   | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                      | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                  |                                                                                        | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe) |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                              | F (Giftklassenfrei)                                                                | 2 (Sehr starke Gifte)                                                                 |                                                                                        |                                               |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                                                      | K: ---                                                                             | K: ---                                                                                | K: ---                                                                                 | K: ---                                        |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                                                      | M: ---                                                                             | M: ---                                                                                | M: ---                                                                                 | M: ---                                        |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: fruchtschädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                 | Re: ---<br>Rf: ---                                                                    | Re: ---<br>Rf: ---                                                                     | Re: ---<br>Rf: ---                            |

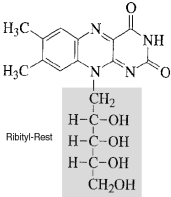
| Name (deutsch)                                       | Glucose                                                                                                   | Natriumhydroxid-Lösung 25 %                                                                               | Ammoniak 13 %                                                                                             | Hefeextrakt                                                                                               |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | ---                                                                                                       | 2 mg/m <sup>3</sup> (Gesamtstaub)                                                                         | 50 ml/m <sup>3</sup> bzw. 35 mg/m <sup>3</sup>                                                            | ---                                                                                                       |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                           |
| EC 50                                                |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                           |
| LC 50                                                |                                                                                                           | 45,4 mg/l/96 h (Fischtoxizität); 76 mg/l/24 h (Dapnientox.) (jeweils wasserfreie Substanz)                | 0,16 – 1,1 mg/l/96 h (Fischtoxizität, Oncorhynchus mykiss)                                                |                                                                                                           |
| LD 50                                                | 25.800 mg/kg (oral, Ratte)                                                                                | 189 mg/l (Fischtoxizität)                                                                                 |                                                                                                           |                                                                                                           |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | ---                                                                                                       | ---                                                                                                       | ---                                                                                                       | ---                                                                                                       |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                           |
| akute Gesundheitsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                          | hoch                                                                                                      | mittel                                                                                                    | vernachlässigbar                                                                                          |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | vernachlässigbar                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                          |
| Umweltgefahren                                       | vernachlässigbar                                                                                          | gering                                                                                                    | mittel                                                                                                    | vernachlässigbar                                                                                          |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                          | vernachlässigbar                                                                                          |
| Gefahren durch das Freisetzungverhalten              | vernachlässigbar                                                                                          | gering                                                                                                    | sehr hoch                                                                                                 | vernachlässigbar                                                                                          |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probenahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probenahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probenahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probenahme, Reinigung) |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                           |
|                                                      | Stoff mit minimalen Risiko laut EG-VO 793/93 (BIA, 2002, Anl.3)                                           | nicht fruchtschädigend bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte                                              | keine Fruchtschädigung bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte zu erwarten                                  | Kein Gefahrstoff im Sinne RL 67/548/EWG                                                                   |

Tabelle 5-12: Informationen zu den bei der biotechnischen Herstellung von Riboflavin aus Glucose relevanten Stoffen (biotechnische Riboflavin-Herstellung) – Teil 2

| Name (deutsch)                                                                                                    | Kaliumhydroxid-Lösung 45 %                                                          | Phosphorsäure 75 %                                                                  | Schwefelsäure 96 %                                                                   | Magnesiumsulfat                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Name (englisch)                                                                                                   | potassium hydroxide solution                                                        | ortho-phosphoric acid                                                               | sulfuric acid                                                                        | magnesium sulfate                             |
| Synonyme                                                                                                          | Kalilauge                                                                           | ortho-Phosphorsäure                                                                 |                                                                                      |                                               |
| CAS-Nr.                                                                                                           | 1310-58-3 (rein)                                                                    | 7664-38-2                                                                           | 7664-93-9                                                                            | 7487-88-9                                     |
| Summenformel                                                                                                      | KOH                                                                                 |                                                                                     | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                                       | MgSO <sub>4</sub>                             |
| Strukturformel                                                                                                    | ---                                                                                 | ---                                                                                 | ---                                                                                  | ---                                           |
| Aggregatzustand                                                                                                   | flüssig                                                                             | flüssig                                                                             | flüssig                                                                              | fest                                          |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                    | k.A.                                                                                | 2 hPa                                                                               | 0,0001 hPa                                                                           | ---                                           |
| Flammpunkt                                                                                                        | k.A.                                                                                | nicht entflammbar                                                                   | nicht anwendbar                                                                      | k.A.                                          |
| Siedepunkt                                                                                                        | k.A.                                                                                | 158°C                                                                               | 310°C                                                                                | k.A.                                          |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                           | gesundheitsschädlich, ätzend                                                        | ätzend                                                                              | ätzend                                                                               | ---                                           |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                               |  C |  C |  C | ---                                           |
| R-Sätze                                                                                                           | R 22-35                                                                             | R 34                                                                                | R 35                                                                                 | ---                                           |
| WGK                                                                                                               | 1 (schwach wassergefährdend)                                                        | 1 (schwach wassergefährdend)                                                        | 1 (schwach wassergefährdend)                                                         | 1 (schwach wassergefährdend)                  |
| Lagerklasse VCI                                                                                                   | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                 | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe) |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                              | 2 (Sehr starke Gifte)                                                               | 2 (Sehr starke Gifte)                                                               | 2 (Sehr starke Gifte)                                                                | F (Giftklassenfrei)                           |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                                                      | K: ---                                                                              | K: ---                                                                              | K: ---                                                                               | K: ---                                        |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                                                      | M: ---                                                                              | M: ---                                                                              | M: ---                                                                               | M: ---                                        |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: fruchtschädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                  | Re: ---<br>Rf: ---                                                                  | Re: ---<br>Rf: ---                                                                   | Re: ---<br>Rf: ---                            |

| Name (deutsch)                                       | Kaliumhydroxid-Lösung 45 %                                                                                 | Phosphorsäure 75 %                                                                                         | Schwefelsäure 96 %                                                                                                                                                       | Magnesiumsulfat                                                                                            |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | ---                                                                                                        | 1 mg/m <sup>3</sup>                                                                                        | 0,1 mg/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                    | ---                                                                                                        |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                            |
| EC 50                                                |                                                                                                            |                                                                                                            | 29 mg/l/24 h (Dapnientoxizität)                                                                                                                                          |                                                                                                            |
| LC 50                                                | 80 mg/l/24 h (Fischtoxizität; Gambusia affinis)                                                            | 138 mg/l/96 h (Fischtoxizität; Gambusia affinis)                                                           |                                                                                                                                                                          |                                                                                                            |
| LD 50                                                | 273 mg/kg (oral, Ratte, Reinsubstanz)                                                                      | 1530 mg/kg (oral, Ratte, Reinsubstanz)                                                                     | 510 mg/m <sup>3</sup> /2 h (inhalativ, Ratte)<br>2.140 mg/kg (oral, Ratte, 25 %ige Lsg.)                                                                                 |                                                                                                            |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | ---                                                                                                        | ---                                                                                                        | ---                                                                                                                                                                      | ---                                                                                                        |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                            |
| akute Gesundheitsgefahren                            | hoch                                                                                                       | mittel                                                                                                     | hoch                                                                                                                                                                     | vernachlässigbar                                                                                           |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                                                                                         | vernachlässigbar                                                                                           |
| Umweltgefahren                                       | gering                                                                                                     | gering                                                                                                     | gering                                                                                                                                                                   | gering                                                                                                     |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                                                                                         | vernachlässigbar                                                                                           |
| Gefahren durch das Freisetzungsverhalten             | gering (Annahme: Dampfdruck 2-10 hPa)                                                                      | gering                                                                                                     | vernachlässigbar                                                                                                                                                         | vernachlässigbar                                                                                           |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung)                                                               | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                            |
|                                                      |                                                                                                            |                                                                                                            | Annahme der Konzentration ausgehend von der für die Lebensmittelproduktion im Handel befindlichen Produkte; nicht fruchtschädigend bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte | Kein Gefahrstoff im Sinne RL 67/548/EWG                                                                    |

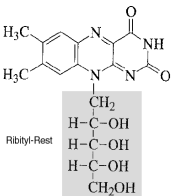
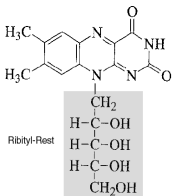
Tabelle 5-13: Informationen zu den bei der biotechnischen Herstellung von Riboflavin aus Glucose relevanten Stoffen (biotechnische Riboflavin-Herstellung) – Teil 3

|                                                                                                                   |                                                                                   |  |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
| Name (deutsch)                                                                                                    | Riboflavin 96 %                                                                   |  |  |  |
| Name (englisch)                                                                                                   | riboflavine                                                                       |  |  |  |
| Synonyme                                                                                                          | Vitamin B2, Lactoflavin                                                           |  |  |  |
| CAS-Nr.                                                                                                           | 83-88-5                                                                           |  |  |  |
| Summenformel                                                                                                      | C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> N <sub>4</sub> O <sub>6</sub>                     |  |  |  |
| Strukturformel                                                                                                    |  |  |  |  |
| Aggregatzustand                                                                                                   | fest                                                                              |  |  |  |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                    | ---                                                                               |  |  |  |
| Flammpunkt                                                                                                        | nicht anwendbar                                                                   |  |  |  |
| Siedepunkt                                                                                                        | nicht verfügbar                                                                   |  |  |  |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                           | ---                                                                               |  |  |  |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                               | ---                                                                               |  |  |  |
| R-Sätze                                                                                                           | ---                                                                               |  |  |  |
| WGK                                                                                                               | nwg (nicht wassergefährdend)                                                      |  |  |  |
| Lagerklasse VCI                                                                                                   | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                     |  |  |  |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                              | F (Giftklassenfrei)                                                               |  |  |  |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc. Cat.; K)                                                                     | K: ---                                                                            |  |  |  |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut. Cat; M)                                                                     | M: ---                                                                            |  |  |  |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: fruchtschädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                |  |  |  |

|                                                         |                                                                                                                               |  |  |  |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
| Name (deutsch)                                          | Riboflavin 96 %                                                                                                               |  |  |  |
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup><br>bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | ---                                                                                                                           |  |  |  |
| BAT-Wert                                                |                                                                                                                               |  |  |  |
| EC 50                                                   | >47,4 mg/l/48 h<br>(Daphnientoxizität)                                                                                        |  |  |  |
| LC 50                                                   | >5,4 mg/l/4 h (Ratte,<br>inhalativ)                                                                                           |  |  |  |
| LD 50                                                   | > 10.000 mg/kg (oral,<br>Ratte)                                                                                               |  |  |  |
| Mengenschwelle<br>nach StörfallV<br>(Anh. 1, Sp. 4)     | ---                                                                                                                           |  |  |  |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>         |                                                                                                                               |  |  |  |
| akute Gesundheits-<br>gefahren                          | vernachlässigbar                                                                                                              |  |  |  |
| chronische Gesund-<br>heitsgefahren                     | vernachlässigbar                                                                                                              |  |  |  |
| Umweltgefahren                                          | vernachlässigbar                                                                                                              |  |  |  |
| Brand-/Explosions-<br>gefahren                          | vernachlässigbar                                                                                                              |  |  |  |
| Gefahren durch das<br>Freisetzungsv-<br>erhalten        | vernachlässigbar                                                                                                              |  |  |  |
| Gefahren durch das<br>Verfahren                         | mittel (Annahme:<br>geschlossene Anlage<br>mit Expositionsmög-<br>lichkeit bei z.B. Abfül-<br>len, Probennahme,<br>Reinigung) |  |  |  |
| <i>Weitere Informationen</i>                            |                                                                                                                               |  |  |  |
|                                                         | Kein Gefahrstoff im<br>Sinne RL<br>67/548/EWG                                                                                 |  |  |  |

## 5.1.3.2 Aufkonzentration des Riboflavins auf über 98 Gew.-%

Tabelle 5-14: Informationen zu den bei der Aufkonzentration von Riboflavin auf über 98 % relevanten Stoffen (biotechnische Riboflavin-Herstellung)

| Name (deutsch)                                                                                                    | Riboflavin 96 %                                                                                   | Salzsäure 24 %                                                                         | Riboflavin 98 %                                                                                    |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Name (englisch)                                                                                                   | riboflavine                                                                                       | Hydrochloric acid                                                                      | riboflavine                                                                                        |  |
| Synonyme                                                                                                          | Vitamin B2, Lactoflavin                                                                           | Hydrogenchlorid, Chlorwasserstoff                                                      | Vitamin B2, Lactoflavin                                                                            |  |
| CAS-Nr.                                                                                                           | 83-88-5                                                                                           | 7647-01-0 (konz.)                                                                      | 83-88-5                                                                                            |  |
| Summenformel                                                                                                      | $C_{17}H_{20}N_4O_6$                                                                              | HCl                                                                                    | $C_{17}H_{20}N_4O_6$                                                                               |  |
| Strukturformel                                                                                                    | <br>Ribityl-Rest | ---                                                                                    | <br>Ribityl-Rest |  |
| Aggregatzustand                                                                                                   | fest                                                                                              | flüssig                                                                                | fest                                                                                               |  |
| Dampfdruck (bei Flüssigkeiten)                                                                                    | ---                                                                                               | 21,8 hPa                                                                               | ---                                                                                                |  |
| Flammpunkt                                                                                                        | nicht anwendbar                                                                                   | nicht anwendbar                                                                        | nicht anwendbar                                                                                    |  |
| Siedepunkt                                                                                                        | nicht verfügbar                                                                                   | 90°C                                                                                   | nicht verfügbar                                                                                    |  |
| Gefährlichkeitsmerkmale                                                                                           | ---                                                                                               | reizend                                                                                | ---                                                                                                |  |
| Gefahrensymbole mit Gefahrenzeichen                                                                               | ---                                                                                               |  Xi | ---                                                                                                |  |
| R-Sätze                                                                                                           | ---                                                                                               | R36/37/38                                                                              | ---                                                                                                |  |
| WGK                                                                                                               | nwg (nicht wassergefährdend)                                                                      | 1 (schwach wassergefährdend)                                                           | nwg (nicht wassergefährdend)                                                                       |  |
| Lagerklasse VCI                                                                                                   | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                                     | 8 B (nicht brennbare ätzende Stoffe)                                                   | 10-13 (sonstige Flüssigkeiten und Feststoffe)                                                      |  |
| Giftklasse (Schweiz)                                                                                              | F (Giftklassenfrei)                                                                               | 2 (Sehr starke Gifte)                                                                  | F (Giftklassenfrei)                                                                                |  |
| Krebserzeugende Eigenschaften (Carc.Cat.; K)                                                                      | K: ---                                                                                            | K: ---                                                                                 | K: ---                                                                                             |  |
| Erbgutverändernde Eigenschaften (Mut.Cat; M)                                                                      | M: ---                                                                                            | M: ---                                                                                 | M: ---                                                                                             |  |
| Fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Repr. Cat; Re: fruchtschädigend; Rf: Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit) | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                | Re: ---<br>Rf: ---                                                                     | Re: ---<br>Rf: ---                                                                                 |  |

| Name (deutsch)                                       | Riboflavin 96 %                                                                                            | Salzsäure 24 %                                                                                             | Riboflavin 98 %                                                                                            |  |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| MAK-Wert (ml/m <sup>3</sup> bzw. mg/m <sup>3</sup> ) | ---                                                                                                        | 5 ml/m <sup>3</sup> bzw. 8 mg/m <sup>3</sup>                                                               | ---                                                                                                        |  |
| BAT-Wert                                             |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |  |
| EC 50                                                | >47,4 mg/l/48 h (Daphnientoxizität)                                                                        |                                                                                                            | >47,4 mg/l/48 h (Daphnientoxizität)                                                                        |  |
| LC 50                                                | >5,4 mg/l/4 h (Ratte, inhalativ)                                                                           | 3.124 ppm (V)/1 h (inhalativ, Ratte, bezogen auf Reinstoff)                                                | >5,4 mg/l/4 h (Ratte, inhalativ)                                                                           |  |
| LD 50                                                | > 10.000 mg/kg (oral, Ratte)                                                                               |                                                                                                            | > 10.000 mg/kg (oral, Ratte)                                                                               |  |
| Mengenschwelle nach StörfallV (Anh. 1, Sp. 4)        | ---                                                                                                        | ---                                                                                                        | ---                                                                                                        |  |
| <i>Einstufung nach TRGS 440 (Spaltenmodell)</i>      |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |  |
| akute Gesundheitsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                           | gering                                                                                                     | vernachlässigbar                                                                                           |  |
| chronische Gesundheitsgefahren                       | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           |  |
| Umweltgefahren                                       | vernachlässigbar                                                                                           | gering                                                                                                     | vernachlässigbar                                                                                           |  |
| Brand-/Explosionsgefahren                            | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           | vernachlässigbar                                                                                           |  |
| Gefahren durch das Freisetzungverhalten              | vernachlässigbar                                                                                           | mittel                                                                                                     | vernachlässigbar                                                                                           |  |
| Gefahren durch das Verfahren                         | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) | mittel (Annahme: geschlossene Anlage mit Expositionsmöglichkeit bei z.B. Abfüllen, Probennahme, Reinigung) |  |
| <i>Weitere Informationen</i>                         |                                                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                            |  |
|                                                      | Kein Gefahrstoff im Sinne RL 67/548/EWG                                                                    | nicht fruchtschädigend bei Einhaltung der MAK- und BAT-Werte                                               | Kein Gefahrstoff im Sinne RL 67/548/EWG                                                                    |  |

## 5.2 Bezeichnung der besonderen Gefahren bei gefährlichen Stoffen und Zubereitungen (R-Sätze)

Bei den R-Sätzen handelt es sich um ein auf europäischer Ebene zwingend vorgegebenes Schlüsselsystem, über das die mit gefährlichen Stoffen verbundenen besonderen Gefahren über die Gefährlichkeitsmerkmale und Gefahrensymbole hinaus detaillierter angegeben werden können - beispielsweise in Sicherheitsdatenblättern oder auf Verpackungen. Neben einzelnen R-Sätzen gibt es dabei auch spezielle Kombinationen. Ergänzend existiert dazu ein System sogenannter Sicherheitsratschläge (S-Sätze), die dem Anwender wichtige Hinweise zur sicheren Verwendung von Arbeitsstoffen geben, die jedoch im Zusammenhang mit dieser Untersuchung nicht weiter relevant sind. Da bei der Bewertung des Gefahrenpotentials von Arbeitsstoffen häufig auf die R-Sätze die dem Anhang III zur RL 67/548/EWG bzw. in den diesen Anhang ändernden Richtlinien (Stand: RL 2001/59/EG; Quelle: <http://www.umwelt-online.de>, 18.05.2004) zu entnehmen sind, Bezug genommen wird, werden diese nachfolgend dokumentiert.

Tabelle 5-15: R-Sätze

| R-Satz | Beschreibung                                                                           |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| R1     | In trockenem Zustand explosionsgefährlich                                              |
| R2     | Durch Schlag, Reibung, Feuer oder andere Zündquellen explosionsgefährlich              |
| R3     | Durch Schlag, Reibung, Feuer oder andere Zündquellen besonders explosionsgefährlich    |
| R4     | Bildet hochempfindliche explosionsgefährliche Metallverbindungen                       |
| R5     | Beim Erwärmen explosionsfähig.                                                         |
| R6     | Mit und ohne Luft explosionsfähig                                                      |
| R7     | Kann Brand verursachen                                                                 |
| R8     | Feuergefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen                                       |
| R9     | Explosionsgefahr bei Mischung mit brennbaren Stoffen                                   |
| R10    | Entzündlich                                                                            |
| R11    | Leichtentzündlich                                                                      |
| R12    | Hochentzündlich                                                                        |
| R14    | Reagiert heftig mit Wasser                                                             |
| R15    | Reagiert mit Wasser unter Bildung hochentzündlicher Gase                               |
| R16    | Explosionsgefährlich in Mischung mit brandfördernden Stoffen                           |
| R17    | Selbstentzündlich an der Luft                                                          |
| R18    | Bei Gebrauch Bildung explosionsfähiger/leichtentzündlicher Dampf-Luft-Gemische möglich |

| R-Satz | Beschreibung                                               |
|--------|------------------------------------------------------------|
| R19    | Kann explosionfähige Peroxide bilden                       |
| R20    | Gesundheitsschädlich beim Einatmen                         |
| R21    | Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut            |
| R22    | Gesundheitsschädlich beim Verschlucken                     |
| R23    | Giftig beim Einatmen                                       |
| R24    | Giftig bei Berührung mit der Haut                          |
| R25    | Giftig beim Verschlucken                                   |
| R26    | Sehr giftig beim Einatmen                                  |
| R27    | Sehr giftig bei Berührung mit der Haut                     |
| R28    | Sehr giftig beim Verschlucken                              |
| R29    | Entwickelt bei Berührung mit Wasser giftige Gase           |
| R30    | Kann bei Gebrauch leicht entzündlich werden                |
| R31    | Entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase            |
| R32    | Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase       |
| R33    | Gefahr kumulativer Wirkungen                               |
| R34    | Verursacht Verätzungen                                     |
| R35    | Verursacht schwere Verätzungen                             |
| R36    | Reizt die Augen                                            |
| R37    | Reizt die Atmungsorgane                                    |
| R38    | Reizt die Haut                                             |
| R39    | Ernste Gefahr irreversiblen Schadens                       |
| R40    | Verdacht auf krebserzeugende Wirkung                       |
| R41    | Gefahr ernster Augenschäden                                |
| R42    | Sensibilisierung durch Einatmen möglich                    |
| R43    | Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich                 |
| R44    | Explosionsgefahr bei Erhitzen unter Einschluss             |
| R45    | Kann Krebs erzeugen                                        |
| R46    | Kann vererbare Schäden verursachen                         |
| R48    | Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition  |
| R49    | Kann Krebs erzeugen beim Einatmen                          |
| R50    | Sehr giftig für Wasserorganismen                           |
| R51    | Giftig für Wasserorganismen                                |
| R52    | Schädlich für Wasserorganismen                             |
| R53    | Kann in Gewässer längerfristig schädliche Wirkung haben    |
| R54    | Giftig für Pflanzen                                        |
| R55    | Giftig für Tiere                                           |
| R56    | Giftig für Bodenorganismen                                 |
| R57    | Giftig für Bienen                                          |
| R58    | Kann längerfristig schädliche Wirkung auf die Umwelt haben |

| R-Satz | Beschreibung                                                           |
|--------|------------------------------------------------------------------------|
| R59    | Gefährlich für die Ozonschicht                                         |
| R60    | Kann die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen                       |
| R61    | Kann das Kind im Mutterleib schädigen                                  |
| R62    | Kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen        |
| R63    | Kann das Kind im Mutterleib möglicherweise schädigen                   |
| R64    | Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen                          |
| R65    | Gesundheitsschädlich: kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen |
| R66    | Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen         |
| R67    | Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen               |
| R68    | Irreversibler Schaden möglich                                          |

Tabelle 5-16: Kombinationen der R-Sätze

| R-Sätze<br>(Kombination) | Beschreibung                                                                                               |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R14/15                   | Reagiert heftig mit Wasser unter Bildung hochentzündlicher Gase                                            |
| R15/29                   | Reagiert mit Wasser unter Bildung giftiger und hochentzündlicher Gase                                      |
| R20/21                   | Gesundheitsschädlich beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut                                          |
| R20/21/22                | Gesundheitsschädlich beim Einatmen, Verschlucken und bei Berührung mit der Haut                            |
| R20/22                   | Gesundheitsschädlich beim Einatmen und Verschlucken                                                        |
| R21/22                   | Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken                                      |
| R23/24                   | Giftig beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut                                                        |
| R23/24/25                | Giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Berührung mit der Haut                                          |
| R23/25                   | Giftig beim Einatmen und Verschlucken                                                                      |
| R24/25                   | Giftig bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken                                                    |
| R26/27                   | Sehr giftig beim Einatmen und bei Berührung der Haut                                                       |
| R26/27/28                | Sehr giftig beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut                                         |
| R26/28                   | Sehr giftig beim Einatmen und Verschlucken                                                                 |
| R27/28                   | Sehr giftig bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken                                               |
| R36/37                   | Reizt die Augen und die Atmungsorgane                                                                      |
| R36/37/38                | Reizt die Augen, Atmungsorgane und die Haut                                                                |
| R36/38                   | Reizt die Augen und die Haut                                                                               |
| R37/38                   | Reizt die Atmungsorgane und die Haut                                                                       |
| R39/23                   | Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen                                                |
| R39/23/24                | Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut                 |
| R39/23/24/25             | Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken |

| R-Sätze<br>(Kombination) | Beschreibung                                                                                                                                  |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R39/23/25                | Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und durch Verschlucken                                                            |
| R39/24                   | Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut                                                                       |
| R39/24/25                | Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken                                                |
| R39/25                   | Giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Verschlucken                                                                               |
| R39/26                   | Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen                                                                              |
| R39/26/27                | Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut                                               |
| R39/26/27/28             | Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken                               |
| R39/26/28                | Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen und durch Verschlucken                                                       |
| R39/27                   | Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut                                                                  |
| R39/27/28                | Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken                                           |
| R39/28                   | Sehr giftig: ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Verschlucken                                                                          |
| R42/43                   | Sensibilisierung durch Einatmen und Hautkontakt möglich                                                                                       |
| R48/20                   | Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen                                                |
| R48/20/21                | Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Berührung mit der Haut               |
| R48/20/21/22             | Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken |
| R48/20/22                | Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Verschlucken                         |
| R48/21                   | Gesundheitsschädlich: Gefahr bei ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut                              |
| R48/21/22                | Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut und durch Verschlucken           |
| R48/22                   | Gesundheitsschädlich: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Verschlucken                                            |
| R48/23                   | Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen                                                              |
| R48/23/24                | Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Berührung mit der Haut                             |
| R48/23/24/25             | Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken               |
| R48/23/25                | Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen und durch Verschlucken                                       |

| R-Sätze<br>(Kombination) | Beschreibung                                                                                                           |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R48/24                   | Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut                         |
| R48/24/25                | Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Berührung mit der Haut und durch Verschlucken  |
| R48/25                   | Giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Verschlucken                                   |
| R50/53                   | Sehr giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben                           |
| R51/53                   | Giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben                                |
| R52/53                   | Schädlich für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben                             |
| R68/20                   | Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen                                                |
| R68/21                   | Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut                                    |
| R68/22                   | Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Verschlucken                                            |
| R68/20/21                | Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen und bei Berührung mit der Haut                 |
| R68/20/22                | Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen und durch Verschlucken                         |
| R68/21/22                | Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens bei Berührung mit der Haut und durch Verschlucken             |
| R68/20/21/22             | Gesundheitsschädlich: Möglichkeit irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken |

### 5.3 Glossar zum Berichtsteil

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adverse Wirkung / Adversität                        | Bezeichnet je nach Verwendung unterschiedliche negative Wirkungen: „schädliche“ (pathogen und damit einen vorübergehenden oder bleibenden Schaden hinterlassend; feststellbar anhand naturwissenschaftlicher Kriterien), „nachteilige“ (für das integrale Fortbestehen des Individuums oder der Spezies) sowie „unerwünschte“ (auch individuell oder gesellschaftlich gesehen; bezieht normative, wertende Elemente mit ein) (Risikokommission, 2003).           |
| Ahnungslosigkeit                                    | Unkenntnis sowohl über die möglichen Schadensfolgen als auch über die Eintrittswahrscheinlichkeit. (WBGU, 1999)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Allergen                                            | Körperfremde, exogene Substanz, gegenüber der das Immunsystem empfindlich reagiert. Längerfristige Exposition kann über eine Sensibilisierung bis hin zu schwerwiegenden allergischen Erkrankungen führen (ABAS, 2003)                                                                                                                                                                                                                                           |
| Bestimmungsgemäßer Betrieb einer technischen Anlage | Zulässiger Betrieb, für den die Anlage nach ihrem technischen Zweck bestimmt, ausgelegt und geeignet ist. Dieser umfasst den Normalbetrieb einschließlich betriebsnotwendiger Eingriffe und der Lagerung mit Füll-, Umfüll- und Abfüllbetrieb, die Inbetriebnahme (inkl. An- und Abfahrbetrieb), den Probetrieb, Instandhaltungsvorgänge und Reinigungsarbeiten sowie den Zustand der vorübergehenden Außerbetriebnahme. (TRBA 400, 2001)                        |
| Bestimmungsgemäßer Betrieb von Einrichtungen        | Geschäftsüblicher Normalbetrieb (TRBA 400, 2001)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Betriebsstörung                                     | Sicherheitstechnisch bedeutsame Abweichung vom bestimmungsgemäßen Betrieb. (TRBA 400,2001)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Biologische Sicherheitsmaßnahme                     | Verwendung von Empfängerorganismen und Vektoren mit bestimmten gefahrenmindernden Eigenschaften (GenTG, 2004).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Biologischer Arbeitsstoff                           | Mikroorganismen, einschließlich gentechnisch veränderter Mikroorganismen, Zellkulturen und humanpathogener Endoparasiten, die beim Menschen Infektionen, sensibilisierende oder toxische Wirkungen hervorrufen können. Ein biologischer Arbeitsstoff im Sinne von Satz 1 ist auch ein mit transmissibler, spongiformer Enzephalopathie assoziiertes Agens, das beim Menschen eine Infektion oder eine übertragbare Krankheit verursachen kann. (BioStoffV, 2003) |
| Dosis-Wirkungs-Beziehung                            | (funktionale) Beziehung zwischen der quantitativ gemessenen Präsenz, insbesondere Konzentration einer Noxe und der dadurch verursachten Wirkung beim Zielorganismus (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| EC50                                                | Folge einer Einwirkung eines Umweltfaktors (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Effekt                                              | Folge einer Einwirkung eines Umweltfaktors (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Explosion                                           | Plötzliche Oxidations- und Zerfallsreaktion mit Anstieg der Temperatur, des Druckes oder beider gleichzeitig (EN 1127-1; zitiert nach Europäische Kommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Exposition             | <p>Tatsache, dass Mensch oder Umwelt mit einem Stoff in Kontakt sind (ex-ponere – lateinisch für „aussetzen“). Die Exposition kann beschrieben werden durch Aufnahme- bzw. Eintragsweg, Intensität/Höhe (Menge, Konzentration des Stoffes), Dauer der Einwirkung. (VCI 2004)</p> <p>Kontakt einer Noxe mit dem Schutzgut Gesundheit oder Umwelt (Risikokommission, 2003)</p> <p>Vorhandensein biologischer Arbeitsstoffe bei Tätigkeiten der Beschäftigten im Sinne der BioStoffV (2003). Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen bedeuten nicht gleichzeitig eine Exposition der Beschäftigten. So ist das Überwachen einer geschlossenen biotechnischen Anlage im Allgemeinen nicht mit einer Exposition verbunden. Das Beimpfen, die Beprobung und die Ernte einer Kultur kann allerdings eine Expositionsmöglichkeit darstellen. (TRBA 400, 2001)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Expositionsabschätzung | Abschätzung der möglichen Exposition anhand bestimmter Randbedingungen (Modelle)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Expositionskategorie   | Gruppierung nach Art und Weise, wie Mensch und Umwelt Stoffen ausgesetzt sind: Aufnahmewege beim Menschen (oral, dermal, inhalativ), Eintragswege in die Umwelt (Luft, Wasser, Boden, Biota), Intensität/Höhe (Menge, Konzentration des Stoffes), Dauer der Wirkung (einmalig, kurzzeitig, gelegentlich, wiederholt, langfristig). (VCI 2004)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Gefahr                 | <p>Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ein erheblicher Schaden für Mensch, Umwelt oder andere Schutzgüter entstehen kann (Risikokommission, 2003)</p> <p>Objektive Bedrohung durch ein zukünftiges Schadensereignis, das unter bestimmten Bedingungen eintritt. Ein Risiko ist dagegen ein mentales Konstrukt, das dazu dient, Gefahren zu bestimmen. Risikoabschätzungen sind immer nur Annäherungen an die objektive Gefahr, die man nur nach dem Eintritt des Schadens sicher kennen kann. (WBGU 1999)</p> <p>Zustand oder Ereignis, das den Eintritt einer gesundheitlichen Beeinträchtigung oder eine Bedrohung des Lebens durch Gefahrstoffe erwarten lässt. (TRGS 300)</p> <p>Der Begriff „Gefahr“ wird je nach Hintergrund unterschiedlich verwendet und dabei teilweise qualitativ, teilweise quantitativ bestimmt (SRU 1999, S. 57): Beim <i>mathematisch-technischen Ansatz</i> steht „Gefahr“ für einen „drohenden Schaden“ und wird beispielsweise mit Grenzwerten für eine Alarmauslösung belegt. Der <i>(öko-)toxikologisch-epidemiologische Ansatz</i> beschreibt damit eine drohende schädliche Wirkung etwa auf die Gesundheit von Menschen oder Tieren qualitativ. Nach dem <i>rechtswissenschaftlichen</i> und dem <i>ökonomischen Ansatz</i> liegt eine Gefahr vor, wenn eine Sachlage bei ungehindertem Ablauf des objektiv zu erwartenden Geschehens mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einem Schaden führt. Beim <i>soziologischen Ansatz</i> wird dagegen Gefahr mit Risiko gleichgesetzt (s. Risiko).</p> <p>Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem ein Schaden entstehen kann. Beispiel: Ein Blumentopf, der auf einem Fenstersims steht. (SUVA, 2003)</p> |

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gefahr, Ernste (nach Störfallverordnung)      | <p>Eine Gefahr, bei der</p> <p>a) das Leben von Menschen bedroht wird oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen von Menschen zu befürchten sind,</p> <p>b) die Gesundheit einer großen Zahl von Menschen beeinträchtigt werden kann oder</p> <p>c) die Umwelt, insbesondere Tiere und Pflanzen, der Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- oder sonstige Sachgüter geschädigt werden können, falls durch eine Veränderung ihres Bestandes oder ihrer Nutzbarkeit das Gemeinwohl beeinträchtigt würde (12. BImSchV, § 2)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Gefährdung                                    | <p>Vorhandensein einer Gefahr (Risikokommission, 2003)</p> <p>Räumliches und zeitliches Zusammentreffen des Menschen mit Gefahren (TRGS 300)</p> <p>Nach SRU (1999) weist eine Gefährdung stets einen Objektbezug (von .../durch ...) auf und ist dabei immer qualitativ charakterisiert. Nach dem <i>mathematisch-technischen Ansatz</i> handelt es sich dabei um einen unscharfen Begriff, der sowohl ein Ereignis als Ursache (... durch ...) oder als Wirkung (... von ...) bezeichnen kann und keine Aussagen zu Häufigkeit und Ausmaß macht. Der (<i>öko</i>-)<i>toxikologisch-epidemiologische Ansatz</i> kennt Umwelt- und Gesundheitsgefährdung, der <i>soziologische Ansatz</i> versteht darunter mögliche Beeinträchtigungen von konkreten oder imaginären Werten. Nach dem <i>rechtswissenschaftlichen</i> sowie dem <i>ökonomischen Ansatz</i> können sich Gefährdungen auf Leben, Gesundheit, Umwelt und Eigentum beziehen. (SRU, 1999, S. 57)</p> <p>Gefahr, die auf eine Person oder ein Objekt bezogen ist. Beispiel: Ein Blumentopf, der beim Absturz eine Person verletzen kann. (SUVA, 2004)</p> |
| Gefährdungspotential                          | Inhärentes Potential einer Noxe einen Schaden hervorzurufen (unabhängig von der Exposition) (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Gefährdungsermittlung                         | Methodisches, tätigkeitsbezogenes Vorgehen zum Ermitteln der Gefährdungen von Personen (SUVA, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Gefahrenermittlung                            | Einfaches, systematisches Erheben der Gefahren für die Sicherheit und Gesundheit von Personen am Arbeitsplatz (SUVA, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Gefahrenpotential                             | Bewertungsgröße für Art und Ausmaß der Gefahr (TRGS 300)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Gefahrenquelle                                | Hypothetisch-abstrakte möglich Zustände und Ereignisse wie z.B. das Versagen von Anlagenteilen bzw. Funktionselementen, die zu einer Betriebsstörung und damit zu einer Gefahr führen können. Eine Gefahrenquelle ist mit dem Begriff „mögliche Gefahrenursache“ gleichzusetzen. (TRGS 300)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Gefährliche Stoffe (nach Störfall-Verordnung) | Stoffe, Gemische oder Zubereitungen, die in Anhang I und Anhang VII der Störfallverordnung (12. BImSchV) aufgeführt sind oder die dort festgelegten Kriterien erfüllen und die als Rohstoff, Endprodukt, Nebenprodukt, Rückstand oder Zwischenprodukt vorhanden sind, einschließlich derjenigen, bei denen vernünftigerweise davon auszugehen ist, dass sie bei einer Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs anfallen. (StörfallV, § 2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gentechnisch veränderter Organismus | Ein Organismus, dessen genetisches Material in einer Weise verändert worden ist, wie sie unter natürlichen Bedingungen durch Kreuzen oder natürliche Rekombination nicht vorkommt (GenTG, 2004; dort näher definiert).                                                                                                                                                                     |
| Gentechnische Anlage                | Einrichtung, in der gentechnische Arbeiten, wie im Glossar entsprechend GenTG definiert, in geschlossenen System durchgeführt werden und bei der spezifische Einschließungsmaßnahmen angewendet werden, um den Kontakt der verwendeten Organismen mit Menschen und der Umwelt zu begrenzen und ein dem Gefährdungspotential angemessenes Sicherheitsniveau zu gewährleisten (GenTG, 2004). |
| Gentechnische Arbeiten              | a) Erzeugung gentechnisch veränderter Organismen, b) Vermehrung, Lagerung, Zerstörung oder Entsorgung sowie der innerbetriebliche Transport gentechnisch veränderter Organismen sowie deren Verwendung in anderer Weise, soweit noch keine Genehmigung für die Freisetzung oder das Inverkehrbringen zum Zweck des späteren Ausbringens in die Umwelt erteilt wurde (GenTG, 2004).         |
| Grenzwert                           | Quantitative Festlegung, an deren Erreichen oder Nichterreichen rechtliche Konsequenzen geknüpft sind, im Unterschied zu Richtwerten, die nur nach Möglichkeit eingehalten werden sollen (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                          |
| Irreversibilität                    | Möglichkeit, einen ursprünglichen Zustand wiederherzustellen oder einen gleichbewerteten Zustand herbeizuführen, ist nicht vorhanden (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                              |
| Latenz                              | Zeitspanne zwischen Exposition und dem Auftreten einer erkennbar adversen Wirkung (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Mikroorganismen                     | Viren, Viroide, Bakterien, Pilze, mikroskopisch-kleine ein- oder mehrzellige Algen, Flechten, andere eukaryotische Einzeller oder mikroskopisch-kleine tierische Mehrzeller sowie tierische und pflanzliche Zellkulturen (GenTG, 2004).                                                                                                                                                    |
| Noxe                                | Träger einer potentiell schädlichen Umwelt- oder Gesundheitsbelastung (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Organismus                          | Jede biologische Einheit, die fähig ist, sich zu vermehren oder genetisches Material zu übertragen (GenTG, 2004).                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Mikroorganismen                     | Viren, Viroide, Bakterien, Pilze, mikroskopisch-kleine ein- oder mehrzellige Algen, Flechten, andere eukaryotische Einzeller oder mikroskopisch-kleine tierische Mehrzeller sowie tierische und pflanzliche Organismen (GenTG, 2004)                                                                                                                                                       |
| Pathogen                            | Krankheitserregend                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Prioritätensetzung, Priorisierung   | Festlegung einer Reihenfolge nach Wichtigkeit und Dringlichkeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| R-Satz                              | Bezeichnung der besonderen Gefahren bei gefährlichen Stoffen und Zubereitungen (risk information: R phrases) (Merck, 2004; RL 67/548/EWG, 2003)                                                                                                                                                                                                                                            |
| Restrisiko                          | Risiko, das bei Unterschreiten als so unbedeutend angesehen wird, dass keine weiteren Maßnahmen zur Minderung des Risikos erforderlich erscheinen, z. B. ein Risiko, das so gering ist, dass es vernachlässigt werden kann (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                        |

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Richtwert | Quantifizierter Wert für Emissionen, Expositionen oder Immissionen, der nach Möglichkeit nicht unterschritten oder überschritten werden sollte (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Risiko    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens und der Tragweite der Schadenswirkung (AG Polyprojekt 1993).</li> <li>- Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer adversen Wirkung unter spezifizierten Umständen (WHO 2000).</li> </ul> <p>Sprachlich-phänomenologische Erklärung: „Größe der Gefahr“. Daraus ergeben sich zwei Stammbegriffe: Der Schaden, der eintreten kann, und die Wahrscheinlichkeit, dass dieser eintritt (SRU 1999, S. 49). Je nach Ansatz wird dieser Begriff unterschiedlich verstanden und dabei quantitativ oder qualitativ charakterisiert (SRU 1999, S. 57):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Mathematisch-technischer Ansatz</i>: Größe der Gefahr, die über Eintrittshäufigkeit und Ausmaß (= Wahrscheinlichkeitsfunktion über die Bandbreite der Schadensmöglichkeiten) quantifiziert wird und damit der Verlusterwartung bzw. dem Erwartungswert der Schadenshöhe entspricht.</li> <li>- <i>(Öko-)Toxikologisch-epidemiologischer Ansatz</i>: Produkt aus Toxizität (Gefahr) und Exposition. Die Toxizität wird mittels Dosis-Wirkungs-Abschätzung quantifiziert (hauptsächlich über Tierversuche und Klärung der Mechanismen, die zur Schadwirkung führen). Charakterisiert die Wahrscheinlichkeit des Auftretens schädlicher Wirkungen in einer Gruppe von gegenüber einer bestimmten Dosis Exponierten.</li> <li>- <i>Soziologischer Ansatz</i>: Risiko wird mit Gefahr gleichgesetzt und bezeichnet von Individuen bzw. Gruppen subjektiv wahrnehmbare, mögliche oder denkbare unerwünschte Handlungsfolgen, die in der Regel von Dritten verursacht werden.</li> <li>- <i>Rechtswissenschaftlicher Ansatz</i>: Ein Risiko ist gegeben, wenn ein Schaden möglich oder nicht auszuschließen ist. Im Gegensatz zur „Gefahr“ ist keine hinreichend große Schädigungswahrscheinlichkeit vorausgesetzt; die bloße Möglichkeit eines Schadens ist ausreichend.</li> <li>- <i>Ökonomischer Ansatz</i>: Entscheidung unter Unsicherheit, wobei alle Ergebnisse, die sich als Folge einer Handlung einstellen können sowie die Eintrittswahrscheinlichkeiten bekannt sind. Standardmodell für die Erklärung des Verhaltens bei Risiko ist die Erwartungsnutzentheorie nach Bernoulli.</li> </ul> <p>Umfasst in einer technischen Risikoperspektive vor allem die Variablen Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens und Schadensausmaß. In einer sozialwissenschaftlichen Perspektive stehen die Aspekte der sozialen und psychischen Risikoerfahrung und Risikowahrnehmung im Vordergrund, während sozioökonomische Ansätze sich mit Risiken der Überlebenssicherung und der Grundbedürfnisdeckung beschäftigen. Im Gegensatz zur Gefahr ist Risiko ein mentales Konstrukt, um Gefahren näher zu bestimmen und nach dem Grad der Bedrohung zu ordnen, also zur Erfassung komplexer Wirkungsketten mit Zufallsereignissen, die keine direkte Entsprechung in der Wirklichkeit haben. (WBGU 1999)</p> |

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Risikoabschätzung | Prozess von der Identifizierung des Gefährdungspotentials bis zur quantitativen Charakterisierung von Risiken (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Risikobewertung   | Enthält als wesentliche Komponenten die Schlussfolgerungen der Risikoabschätzung und die Übersetzung des Risikos in gesellschaftliche Wertkategorien und ist damit der maßgebliche Beitrag zur Feststellung von Handlungsbedarf. In ihr vollzieht sich der Übergang von der eher kognitiv geprägten Risikoabschätzung zum eher durch Wertungen geprägten Risikomanagement. (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Risikomanagement  | Prozess von der Identifikation und Auswahl der Maßnahmen über die Umsetzung bis zur Evaluation der Maßnahmen (Risikokommission, 2003)<br><br>Maßnahmen zur Herabsetzung oder Begrenzung des Risikos eines Stoffes für Mensch oder Umwelt (VCI 2004)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Risikoregulierung | Gesamtprozess aus Risikoabschätzung und Risikomanagement einschließlich des Vorverfahrens (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Risikowahrnehmung | Prozess der subjektiven Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung risikobezogener Informationen, die aus eigener Erfahrung, der Rezeption von vermittelten Informationen, sowie der direkten Kommunikation mit anderen Individuen stammen (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Schaden           | Negativ bewertete Folge eines Ereignisses oder einer Handlung (Risikokommission, 2003)<br><br>Kann nach SRU (1999, S. 49 u. 57) nur relativ bezogen auf ein Absolutes (Ziel, Gut, Wert), dem geschadet wird, bestimmt werden. Wird dabei meist quantifiziert, dabei je nach Hintergrund jedoch unterschiedlich verwendet: Der <i>mathematisch-technische Ansatz</i> versteht darunter Funktionsbeeinträchtigungen (von „gering“ bis „Zerstörung“) und die damit verbundenen materiellen oder immateriellen (ideellen), reversiblen oder irreversiblen, kompensierbaren oder nicht kompensierbaren Schäden. Innerhalb des ( <i>öko</i> -) <i>toxikologisch-epidemiologischen Ansatzes</i> werden dadurch schädliche Wirkungen auf Lebewesen oder Ökosysteme infolge einer Exposition benannt. Für den <i>rechtswissenschaftlichen Ansatz</i> liegt ein Schaden bei einer nicht unerheblichen Beeinträchtigung eines rechtlich geschützten Gutes (Leben, menschliche Gesundheit, Eigentum, Umwelt) vor, der <i>ökonomische Ansatz</i> sieht darin einen nicht unerheblichen (im)materiellen einzel- bzw. gesamtwirtschaftlichen Verlust. Bezeichnet im soziologischen Ansatz allgemein Beeinträchtigungen und daraus resultierende Schäden.<br><br>Zerstörung, Minderung und Beeinträchtigung konkreter oder abstrakter Werte. Dazu gehören Einbußen an geldwerten Gütern (Vermögensschaden), Lebenschancen (z.B. bei einer Flucht vor Naturkatastrophen) und Lebensqualität (z. B. durch Naturzerstörung). In diese Kategorie fallen auch Formen der ideellen Schädigung, wie beispielsweise der Verlust des Vertrauens in die Integrität politischer Entscheidungsträger. Um einen Schaden als solchen erkennen zu können, braucht es immer das bewertende Subjekt. Der Schadensbegriff ist deshalb anthropozentrisch angelegt. (WBGU 1999) |
| Schutzgut         | Objekt, das geschützt werden soll (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Schutzziel                                 | Umfang des angestrebten Schutzes im Hinblick auf das angestrebte Schutzniveau im Sinne von: Wie sicher ist sicher genug? (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Schwellenwert                              | Wert, bei dem ein vor dem Hintergrundrauschen als Sprung identifizierbarer Effekt in der Dosis-Wirkungskurve auftritt; besonders bedeutsam bei Sprüngen vom Null-Effekt auf messbare Effekte (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Sensibilisierung                           | Verstärkung der Empfindlichkeit des Immunsystems gegenüber einer körperfremden, exogen Substanz (Allergen). Bei erneutem Allergenkontakt kann eine allergische Erkrankung auftreten. (ABAS, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Sicherheitsstufen (nach Gentechnik-Gesetz) | Einstufung gentechnischer Arbeiten nach ihrem Gefährdungspotential (GenTG, 2004).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Sicherheitstechnik                         | Gesamtheit aller technischen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten vor möglichen Gefährdungen sowie der zusätzlichen organisatorischen Maßnahmen, die sich aus den Erfordernissen des Verfahrens, der Arbeitsmittel oder der Anlagen ergeben. (TRGS 300)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Sicherheitstechnik, Stand der ...          | Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, die die praktische Eignung einer Maßnahme zur Verhinderung von Störfällen oder zur Begrenzung ihrer Auswirkungen gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Sicherheitstechnik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind. (12. BImSchV - Störfall-Verordnung, § 2)                                                                                                                                                  |
| Standard                                   | (Umwelt-)Standards sind quantitative Festlegungen zur Begrenzung verschiedener Arten anthropogener Einwirkungen auf den Menschen und/oder die Umwelt (Immissionsstandards) sowie Festlegungen, die die Verursacherbereiche betreffen (Emissionsstandards). Sie werden aus Umweltqualitätszielen und Umwelthandlungszielen abgeleitet. Umweltstandards werden für unterschiedliche Schutzobjekte, Belastungsfaktoren, Dimensionen und Schutzziele sowie nach verschiedenartigen Bewertungsansätzen und mit unterschiedlicher Rechtsverbindlichkeit von verschiedenen Institutionen festgelegt. (Risikokommission, 2003)   |
| Stochastische Wirkung                      | Ursache-Wirkungskette, bei der die Wirkung mit einer Wahrscheinlichkeit zwischen kleiner 1 und größer 0 eintritt und bei der somit nicht das Ausmaß der Wirkung sondern die Häufigkeit ihres Auftretens mit der Exposition ansteigt (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Störfall (nach Störfallverordnung)         | Ein Ereignis, wie z. B. eine Emission, ein Brand oder eine Explosion größeren Ausmaßes, das sich aus einer Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs in einem unter diese Verordnung fallenden Betriebsbereich oder in einer unter diese Verordnung fallenden Anlage ergibt, das unmittelbar oder später innerhalb oder außerhalb des Betriebsbereichs oder der Anlage zu einer ernststen Gefahr oder zu Sachschäden im Betriebsbereich größer 2 Millionen EURO bzw. außerhalb des Betriebsbereiches größer ab 0,5 Millionen EURO führt und bei dem ein oder mehrere gefährliche Stoffe beteiligt sind. (12. BImSchV, § 2) |
| Substitut                                  | Ersatz(-stoff oder -verfahren) (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tolerierbares Risiko                                        | Risiko, das im Rahmen eines Bewertungsprozesses als gerade noch zumutbar angesehen wird, das aber weiter reduziert werden sollte (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Vektor                                                      | Ein biologischer Träger, der Nukleinsäure-Segmente in eine neue Zelle einführt (GenTG, 2004).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Vorhandensein gefährlicher Stoffe (nach Störfallverordnung) | Das tatsächliche oder vorgesehene Vorhandensein gefährlicher Stoffe oder ihr Vorhandensein, soweit davon auszugehen ist, dass sie bei einem außer Kontrolle geratenen industriellen chemischen Verfahren anfallen, und zwar in Mengen, die die in Anhang I und Anhang VII der Störfallverordnung (12. BImSchV) genannten Mengenschwellen erreichen oder überschreiten. (12. BImSchV, § 2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Vorsorge / Vorsorgeprinzip                                  | <p>Der Vorsorgebegriff unterscheidet schutzbezogene Vorsorge (Gefahrenvorsorge, auch "wirksame Umweltvorsorge" gemäß UVPG) und schutzobjektunabhängige (gefahrenunabhängige) Vorsorge (beispielsweise Emissionsbegrenzung in 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG). Es handelt sich dabei um eine immissionsorientierte, auf die Schutzgüter der Umwelt gerichtete Sichtweise. Vorsorgestandards können als Emissions- oder Immissionsstandards ausgeprägt sein. Bei der Vorsorge geht es darum, theoretisch mögliche bzw. vermutete und nicht wie bei der Gefahrenabwehr hinreichend wahrscheinliche Umweltschäden zu vermeiden (z. B. Vorsorgegrundsatz BImSchG).</p> <p>Bundesverwaltungsgericht: Es müssen "auch solche Schadensmöglichkeiten in Betracht gezogen werden, (...) (für die noch) keine Gefahr, sondern nur ein Gefahrenverdacht oder ein 'Besorgnispotential' besteht".</p> <p>(Risikokommission, 2003)</p> |
| Wirkung                                                     | Durch eine Noxe bedingte physiologisch messbare Veränderung eines Organismus, der biotischen oder abiotischen Umwelt oder eines Sachguts (Risikokommission, 2003)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

## 6 Literatur

- ABAS - Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe (2003): Beschluss 606 - Biologische Arbeitsstoffe mit sensibilisierenden Wirkungen. BARbBl. 3/2003, <http://www.baua.de>
- Achernbosch, M.; Richers, U. (1997): Vergleich und Beurteilung von Stoffströmen der abwasserfreien und abwassererzeugenden Verfahren der "nassen" Rauchgasreinigung von Hausmüllverbrennungsanlagen. Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 5874, Karlsruhe
- Achernbosch, M.; Richers, U. (1999): Stoffströme und Investitionskosten bei der Rauchgasreinigung von Abfallverbrennungsanlagen. Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6306, Karlsruhe
- Althaus, H.-J.; Chudacoff, M.; Hirsch, R.; Jungbluth, N.; Primas, A.; Osses, M. (2003): Life Cycle Inventories of Chemicals. Final report ecoinvent 2000 No. 8, EMPA Duebendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf
- ANS - Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen e.V. (1995): Anaerobe Bioabfallbehandlung in der Praxis. Heft 30 (März)
- ARS - Agriculture Research Service des U.S. Departments of Agriculture (1998): Produktinformationen. <http://www.ars.usda.gov/is/pr/1998/980319.htm>
- Auksutat, M.; Löffler, R. (1998): Kostenstrukturuntersuchung von Abfallbeseitigungsverfahren. F+E-Vorhaben 203 50 502, Texte 30/98, Hamburg, Berlin
- AWT - Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernährung e.V. (Hrsg.) (1999): Probiotika in der Tierernährung. Informationsschrift der AgriMedia Buchedition in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Fachverlag, Frankfurt
- Bahr, M. (1997): 1656 m³/Stunde - Druckluftversorgung der Lindavia Fruchtsaft AG. Getränkeindustrie 4, Verlag W. Sachon, Mindelheim
- BAuA - Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2003): Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe nach Anhang I der Richtlinie 67/548/EWG. 6. Abschnitt der Gefahrstoffverordnung und TRGS 905, Stand August 2003, [www.baua.de](http://www.baua.de)
- Bayer (2003): Persönliche Mitteilung auf Anfrage zum Herstellungsprozess des Handelsproduktes Aviguard (Dr. Froyman)
- Bayre, K.; Tronecker, D.; Wagner, J.; Kreibe, S.; Hoppenheidt, K.; Rommel, W. (2003): Alternativen zur landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm aus der kommunalen Abwasserreinigung. BlfA-Texte Nr. 16, Augsburg, veröffentlicht unter: <http://www.bifa.de>
- BdK - Bundesverband der deutschen Kalkindustrie e.V. (1995): Persönliche Mitteilung über den Einsatz verschiedener Ofentypen beim Kalkbrennen
- Berna, J.L.; Renta, C.; Cavalli, L. (1995): A life-cycle inventory for the production of linear alkylbenzene sulphonates in Europe. Tensides Surfactants Detergents 2/95, Carl Hanser Verlag, München, 122; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)
- BfU - Bundesamt für Umweltschutz Bern (Hrsg) (1988): Konzept für eine Reststoffdeponie. Schriftenreihe Umweltschutz, Nr. 93
- BIA - Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (2003): Grenzwerteliste 2003. Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit. BIA-Report 2/2003, <http://www.hvbg.de>
- BIA - Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (2004): Gefahrstoffliste 2004 – Gefahrstoffe am Arbeitsplatz. BIA-Report 1/2004, <http://www.hvbg.de>

- BIA - Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (2004a): GESTIS-Stoffdatenbank - Gefahrstoffinformationssystem der gewerblichen Berufsgenossenschaften. <http://www.hvbg.de>
- Bidlingmaier, W.; Müsen, J. (1994): Handbuch Abfall - Vergärung und Kompostierung von Bioabfällen, Methodenvergleich. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg)
- Bidlingmaier, W.; Grauenhorst, V. (1996): Geruchsemissionen von Kompostierungsanlagen. In: Neue Techniken der Kompostierung. Stegmann (Hrsg). Hamburger Berichte 11. Dokumentation des 2. BMBF-Statusseminars in Hamburg, 6. - 8. November 1996, S. 441 ff.
- Bilitewski, B.; Werner, P.; Weltin, D. (Hrsg.); Behrisch, B. (1998): Gesellschaft zur Förderung des Institutes für Abfallwirtschaft und Altlasten e.V. - Anaerobe biologische Abfallbehandlung. Im Auftrag des Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten, TU Dresden, Beiträge zur Abfallwirtschaft, Band 7, Tagungsband der Fachtagung vom 2./3. Februar 1998
- BioStoffV - Biostoff-Verordnung (2003): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen. Letzte Änderung vom 25.11.2003, <http://www.umwelt-online.de>
- BLT - Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht (2003): Grundlagen der Schweinefütterung. [http://www.stmelf.bayern.de/blt/infos/grundsaeetze\\_schweinefuetterung/teil1.pdf](http://www.stmelf.bayern.de/blt/infos/grundsaeetze_schweinefuetterung/teil1.pdf)
- BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.) (2000): Energie Daten 2000 - Nationale und internationale Entwicklung. Berlin
- Böhme, H.; Fleckenstein, J.; Hu, Z.; Schnug, E. (2002): Bilanzversuche zum Einsatz von Seltenen Erden in der Schweinemast. Vortragsmanuskript zum 114. VDLUFA-Kongress Ressourcen und Produktsicherheit – Qualitätssicherung in der Landwirtschaft, 16. – 20. September 2002, Leipzig
- Bolduan, G. (1998): Versuchsbericht zum Einsatz von BIOMOS in der Ferkelaufzucht, Institut für Angewandte Agrarökologie Rostock, Arbeitsgruppe Ferkelernährung; zit. bei: Schneider-Böttcher (2001)
- Bott, K.; Hoffmann, H.; Wulz, K.; Wostbrock, K-H. (1978): Verfahren zur Herstellung von Tetraacetyläthylendiamin. Patent, BASF AG, Ludwigshafen
- Borken, J.; Patyk, A.; Reinhardt, G. (1998): Basisdaten für ökologische Bilanzierungen. Einsatz mobiler Maschinen in Transport, Landwirtschaft und Bergbau. Braunschweig/ Wiesbaden
- Borken, J.; Patyk, A.; Reinhardt, G. (1999): Basisdaten für ökologische Bilanzierungen. Einsatz von Nutzfahrzeugen in Transport, Landwirtschaft und Bergbau. Vieweg-Verlag, Wiesbaden
- Boustead, I. (1994): Eco-profiles of the european polymer industry, Report 6: Polyvinylchlorid. Report for Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), Brussels
- Boustead, I. (1994a): Eco-profiles of the European polymer industry. Report 5: Co-Product Allocation in Chlorine Plants. Report for Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), Brussels
- Boustead, I. (1994b): Eco-profiles of the European polymer industry. Report 7: Polyvinylidene chloride. Report for Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), Brussels
- Boustead, I. (1997): Eco-profiles of plastics and related intermediates, Report 15: Nylon 66. Report for Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), Brussels

- Boustead, I. (1999): Ecoprofiles of plastics and related intermediates, Report 51: Benzene. Report for Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), Brussels
- Boustead, I. (1999a): Ecoprofiles of plastics and related intermediates, Report 60: Xylenes. Report for Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), Brussels
- Boustead, I. (1999b): Ecoprofiles of plastics and related intermediates, Report 6: Ethylenes (ave.). Report for Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), Brussels
- Boustead, I.; Fawer, M. (1998): Ecoprofiles of perborates. European Chemical Industry Council (CEFIC), Brussels; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)
- Bretz, R.; Frankhauser, P. (1994): Screening LCI Tinopal CBS-X und DMS-X. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin
- Bretz, R.; Frankhauser, P. (1996): Screening LCA for large number of products. The International Journal of LCA 1, S. 139-146; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)
- ChemFinder (2004): ChemFinder.Com. Database and Internet Searching. CambridgeSoft Corporation, <http://chemfinder.cambridgesoft.com>
- Chen, H.-F. (1997): Influence of rare earth compounds on the growth of pigs. J. Chin. Rare Earth Society 15, S. 441-443
- Chevita (2003): Persönliche Mitteilung - Informationsgespräche zum Herstellungsprozess und der dafür verwendeten Stoffströme zwischen der Chevita GmbH und der BlfA GmbH, Pfaffenhofen
- CIBA (1999): Life cycle inventories for optical brighteners for detergents. Daten der Datenbank ECOSYS, Persönliche Mitteilung der Firma CIBA SC, Bern; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)
- CIS - International Occupational Safety and Health Information Centre (2004): International Chemical Safety Cards (ICSC). International Labour Organization, <http://www.ilo.org>
- Clariant (1998): Persönliche Mitteilung der Firma Clariant; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)
- Conradini, R.; Köhler, D.; u.a. (1999): Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen - Teil I Allgemeines und Teil III Metalle. Forschungstelle für Energiewirtschaft (FfE), München
- Dall'Acqua, S.; Fawer, M.; Fritschi, R.; Allenspach, C. (1999): Life Cycle Inventories for the production of detergent ingredients. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Report No 244, St. Gallen
- DGS - Die Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion (2002): Informationsangebot im Internet. <http://www.ulmer.de/cms/artikel.dll/dgs>
- Dehoust, G.; Stahl, H.; Gebhardt, P.; Gärtner, S.; Bunke, D.; Jenseit, W.; Espinagosa, R. (1998): Systemvergleich unterschiedlicher Verfahren der Restabfallbehandlung für die Stadt Münster. Öko-Institut e.V. im Auftrag der Stadt Münster, Darmstadt/Freiburg
- DIN - Deutsches Institut für Normung DIN e.V. (2003): Waschmaschinen für den Hausgebrauch Verfahren zur Messung der Gebrauchseigenschaften (IEC 60456:1998, modifiziert) Deutsche Fassung EN 60456:1999 + A11:2001 + A12:2001 + A13:2003 EN 60456
- DSD - Duales System Deutschland (1995): Ökobilanz zur Verwertung von Kunststoffabfällen aus Verkaufsverpackungen. Studie der Arbeitsgemeinschaft Kunststoffverwertung (DSD), Fraunhofer-Institut München, TU Berlin, Universität Kaiserslautern
- DSM (2003): Datenrecherche vor Ort bzw. persönliche Mitteilung der Firma DSM Nutritional Products (vormals Roche Vitamine GmbH), Grenzach-Wyhlen

- Durst, L.; Feldner, M.; Gedek, B.; Eckel, I. u. B. (1998): Bakterien als Probiotikum in der Sauenfütterung und der Ferkelaufzucht, Kraftfutter 9, S. 356-363; zit. bei Schneider-Böttcher (2001)
- ecoinvent (2003): Schweizer Zentrum für Ökoinventare - Projekt ecoinvent 2000. <http://www.ecoinvent.ch>
- Eggels, P.; van der Ven, B. (1995): Allocation model for landfill. In: Finnveden, G.; Huppes, G. (Eds.) (1995): Life Cycle Assessment and Treatment of Solid Waste. AFR-Report 98, Swedish EPA, Stockholm
- Ehrig, H.-J. (1997): Verbundvorhaben Deponiekörper. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Verbundvorhaben Deponiekörper, Berlin
- Eisele, N. (2003): Untersuchungen zum Einsatz Seltener Erden als Leistungsförderer beim Schwein. Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät
- FAL - Landbauforschung Völknerode (2000): Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen. Studie als Sondergutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- Fawer, M. (1996): Life Cycle Inventories for the production of Zeolithe A for detergents. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Report No 234, St. Gallen; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)
- Fawer, M. (1997): Life Cycle Inventories for the production of sodium silicates. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Report No 241, St. Gallen; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)
- Fawer, M.; Fecker, I. (1993): Ökobilanzen von Waschmittel-Inhaltsstoffen (Builder-System). Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Report No 117,054, St. Gallen; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)
- Fenner, J. (1980): Energetische Untersuchungen zur Wettbewerbssituation zwischen Saccharose und Isoglucose. Dissertation am Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus der Technischen Universität München-Weihenstephan
- Flachowsky, G.; Schulz, E. (1998): Antimikrobielle Zusatzstoffe in der Schweineproduktion. Chancen und Grenzen. 2. Internationaler Congress für Tierärzte und Landwirte Bd. 2, Hannover, 10.-12. November 1998, EuroTier; zit. bei Schneider-Böttcher (2001)
- Förstner, U.; Hirschmann, G.; Umweltbundesamt (Hrsg.) (1997): Langfristiges Deponieverhalten von Müllverbrennungsschlacken. Abschlußbericht Verbundvorhaben Deponiekörper, Teilvorhaben 1
- Franke, M.; Klüppel, H.; Kirchert, K.; Olschewski, P. (1995): Ökobilanzierung - Sachbilanz für die Waschmittel-Konfektionierung. Tensides Surfactants Detergents, 32, 6, S. 508-514
- Freitag, M.; Hensche, H.-U.; Schulte-Sienbeck, H.; Reichelt, B. (1998): Kritische Betrachtung des Einsatzes von Leistungsförderern in der Tierernährung. Fortschrittsberichte des Fachbereiches Agrarwirtschaft Soest Universität – Gesamthochschule Paderborn Nr. 8, zit. bei Schneider-Böttcher (2001)
- Fricke, K.; Turk, T.; Vogtmann, H. (1990): Grundlagen der Kompostierung. Hrsg.: K.J. Thome-Kozmiansky, TU Berlin, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin
- Frischknecht, R.; u.a. (1994): Ökoinventare für Energiesysteme. Im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft u. d. Nationalen Energie-Forschungs-Fonds NEFF, 1. Auflage, Bern

- Frischknecht, R.; u.a. (1995): Ökoinventare für Energiesysteme. Im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft u. d. Nationalen Energie-Forschungs-Fonds NEFF, 2. Auflage, Bern
- Frischknecht, R.; u.a. (1996): Ökoinventare für Energiesysteme. Im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft u. d. Nationalen Energie-Forschungs-Fonds NEFF, 3. Auflage, Bern
- Frischknecht, R. (1999): Umweltrelevanz nat. Kältemittel - Ökobilanzen von Wärmepumpen und Kälteanlagen. BfE - Bundesamt für Energie, Bern
- Fritsche, U.R.; u.a. (1994): Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 2.1. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, Hessisches Umweltministerium, Darmstadt, Kassel
- Fritsche, U.; Buchert, M.; Hochfeld, C.; Jenseits, W.; Matthes, F.C.; Rausch, L.; Stahl, H.; Witt, J. (1997): Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS) Version 3.0. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (Hrsg.)
- Fritsche, U.R.; Leuchtner, J.; Matthes, F.C.; Rausch, L.; Simon, K.H. (2000): Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.0. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, Hessisches Umweltministerium, Wiesbaden
- Fritsche, U.R.; Gensch, C.-O.; Jenseit, W.; Hochfeld, C.; Knies, S.; Lenz, V.; Rausch, L.; Schmied, M.; Schmidt, K.; Schmitt, B.; Stahl, H.; Wiegmann, K. (2001): Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.0
- Fritsche, U.R.; Gensch, C.-O.; Jenseit, W.; Hochfeld, C.; Knies, S.; Lenz, V.; Rausch, L.; Schmied, M.; Schmidt, K.; Schmitt, B.; Stahl, H.; Wiegmann, K. (2002): Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.1
- GenTG – Gentechnikgesetz (2004): Gesetz zur Regelung der Gentechnik. Letzte Änderung vom 22.03.2004, <http://www.juris.de>
- Gerhartz, W. (Hrsg.) (1987): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5<sup>th</sup> Edition, Volume A 10, Weinheim
- Gerhartz, W. (Hrsg.) (1993): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5<sup>th</sup> Edition, Volume A 24, Weinheim
- Gerhartz, W. (Hrsg.) (1996): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5<sup>th</sup> Edition, Volume A 27, Weinheim
- Gerhartz, W. (Hrsg.) (1996a): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5<sup>th</sup> Edition, Weinheim
- GhK - Gesamthochschule Kassel (1994): Daten aus der ersten Version der L&E-Studie fuer die Enquete-Kommission Schutz der Erdatmosphäre. Vgl. zu den Details:
- GhK - Gesamthochschule Kassel (1995): Landwirtschaft und Ernährung. Quantitative Analysen und Fallstudien (Teilbericht A) und ihre klimatische Relevanz (Teilbericht B). Veränderungstendenzen im Ernährungssystem; H.Bossel/A.Meier-Ploeger/H.Vogtmann In: Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Dt. Bundestags (Hrsg.): Landwirtschaft Studienprogramm. Teilband II, Economica Verlag, Bonn
- Haas, G.; Köpke, U. (1994): Vergleich der Klimarelevanz ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung. Studienprogramm "Landwirtschaft" der Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre", 2. überarbeitete Fassung

- StJ ELF - Statistisches Jahrbuch Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1992)
- Gloor, R. (2000): Energieeinsparungen bei Druckluftanlagen in der Schweiz. BfE - Bundesamt für Energie, Bern
- Göttsching, L. (1990): Papier in unserer Welt. Econ Verlag GmbH, Düsseldorf, Wien, New York
- Graija, S.; Wilderer, P. A. (1988): Reinigungsverfahren für Prozesswässer aus der Bioabfallvergärung. In: Berichtsheft 9 zum 6. Statusseminar am 28. Oktober 1998 im ICC München. BayFORREST-Forschungsvorhaben F144. Berichte des Bayrischen Forschungsverbundes für Abfallforschung und Reststoffverwertung. Wilderer, P. A.; Tartler, D. C. (Hrsg.)
- Gronauer, A.; Claassen, N.; Ebertseder, T.; Fischer, P.; Gutser, R.; Helm, M.; Popp, L.; Schön, H. (1997): Bioabfallkompostierung, Verfahren und Verwertung. Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.), Schriftenreihe Heft 139
- Haberer, B.; Schulz, E. (1998): Zum Einfluss NSP-hydrolysierender Enzyme in der Schweinefütterung. Übers. Tierernährg., 26, S. 25-64; zit. bei Eisele (2003)
- Habersatter, K. (1991): Ökobilanz von Packstoffen, Stand 1990 (Schriftenreihe Umwelt Nr. 132). In: Schriftenreihe Umwelt Nr. 132, BUWAL. BUWAL, Bern
- Habersatter, K.; Fecker, I.; Dall'Aqua, S.; Fawer, M.; Fallscheer, F.; Förster, R.; Maillefer, C.; Ménard, M.; Reusser, L.; Som, C.; Stahel, U.; Zimmermann, P. (1998): Ökoinventare für Verpackungen, Band II. In: Schriftenreihe Umwelt 250 / II, 2. Auflage, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern
- Hams, S.; Becker, G.; Bischoff, M.; Böning, T. (1999): Effects of the anaerobic biowaste treatment processes management on the digestate quality (residues from digestion/compost, process water/wastewater). In: Bidlingmaier, W.; de Bertoldi, M.; Diaz, L.F.; Papadimitriou, E.K. (Hrsg.): ORBIT 99 - Organic Recovery & Biological Treatment. Proceedings of the International Conference ORBIT 99 on Biological Treatment of Waste and the Environment, Part I - III., September 2 - 4, 1999, Weimar
- Henkel (1992): Persönliche Mitteilung der Firma Henkel, Düsseldorf; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)
- Hirschmann, G.; Förstner, U. (1997): Langfristiges Deponieverhalten von Müllverbrennungsschlacken. In: Ehrig, H.-J. (1997): Verbundvorhaben Deponiekörper. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Verbund-vorhaben Deponiekörper, Berlin
- Hirsinger, F.; Schick, K.P. (1995): ): A Life cycle inventory for the production of alcohol sulphates in Europe. Tensides Surfactants Detergents 2/95, Carl Hanser Verlag, München; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)
- Hischier R. (2003): Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper. Final report ecoinvent 2000 No. 11, EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf
- Hoffmann, B. (1996): Zur Entwicklung der Hormonanwendung in der Mast und des Hormonverbotes in Deutschland und Europa. AfT-Symposium. Tierärztl. Umschau, 51, S. 671-673; zit. bei Eisele (2003)
- Holl, E. (2000): Ohne Leistungsförderer in das nächste Jahrtausend. Handbuch der tierischen Veredlung 2000, S. 117-126, Kamlage Verlag GmbH & Co. Osnabrück
- Hoppenheidt, K.; Mücke, W.; Kübler, H.; Nimmrichter, R. (1998a): Gemeinsame Behandlung von biogenen Abfällen aus Haushalten und Gewerbe am Beispiel der Co-Vergärungsanlage der Fa. Högl in Dietrichsdorf, Lkr. Kelheim. Forschungsvorhaben 3A/1-4252-22297, Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.)

- Hoppenheidt, K.; Hirsch, P.; Kottmair, A.; Nordsieck, H.; Swerev, M.; Mücke, W. (1998b): Gemeinsame Vergärung von Bio- und Gewerbeabfall - Ergebnisse einer wissenschaftlichen Begleituntersuchung. In: Vergärung von Bioabfällen. Seminar am 09. Dezember 1998 in Wackersdorf, Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.), S. 63 ff.
- Hottenroth, S.; Peche, R.; Roth, U.; Kreibe, S.; Rommel, W.; Rieger, D.; Achatz, D.; Ossenkopf, A. (2004): Praxishilfe zur Durchführung von Ökoeffizienzanalysen als Instrument einer Integrierten Produktpolitik (IPP) an einem Beispiel aus der Automobilindustrie. BfA-Texte Nr. 26, Augsburg, veröffentlicht unter <http://www.bifa.de>
- ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung (1991): Raps-Bilanz. Heidelberg
- ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (1994): Vergleichende Untersuchungen zu den Umweltauswirkungen unterschiedlicher Verfahren der Behandlungen von Klärschlamm aus Bremen. Im Auftrag der Bremer Entsorgungsbetriebe, Heidelberg
- ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (1994a): Ökobilanz für Verpackungen. Teilbericht: Energie - Transport - Entsorgung. Im Rahmen der Studie "Ökoprofile von Packstoffen und Packmitteln" in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung/Wiesbaden und dem Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung/München im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin
- ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (1995): Berechnungen und Abschätzungen<sup>^</sup>
- ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2002): vorliegende Betriebsdaten verschiedener neuer Anlagen (z.B. MVB Hamburg, MVA Mannheim 4. Kessel, MVA Weißenhorn, HKW München Nord, MHKW Iserlohn)
- ifu - Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH; ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2002): Umberto 4.1 - Software für das betriebliche Stoffstrommanagement, Hamburg, Heidelberg
- ISI - Informationsstelle für Sicherheitsdatenblätter (2004): Online-Datenbank für Sicherheitsdatenblätter. <http://www.baua.de>
- Janzen, D. (1995): Methodology. Tensides Surfactants Detergents, 32, Carl Hanser Verlag, München
- Jungbluth N. (2003): Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report ecoinvent 2000 No. 6, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf and Villigen
- Kaltschmitt, M. (1997): Nachwachsende Energieträger - Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierungen. Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden
- Kaplan, F.F. (1988): The Processing of Rare Earth Minerals. In: Bautista, R.G, Wong, M.M.: TMS 1988, S. 317
- Kersten, M.; Moor, C.; Johnson, C.A. (1995): Emissionspotential einer Müllverbrennungsschlacken-Monodeponie für Schwermetalle. In: Müll und Abfall 11, S. 748-758
- Knörr, W.; Höpfner, U.; Lambrecht, U.; Nagel, H.-J.; Patyk, A. (1998): TREMOD: Transport Emission Estimation Model. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980 bis 2020. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Ufoplan Nr. 10506057, Heidelberg
- Koenig, G.; Lohmar, E.; Rupprich, N. (1989): Chloroacetic Acids. In: Gerhartz, W (Hrsg.): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5<sup>th</sup> Edition, Volume A 10, Weinheim, S. 537 ff.; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)

- Kohlewirtschaft (2000): Der Kohlenbergbau in der Energiewirtschaft der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1999. Statistik der Kohlewirtschaft e.V., Essen und Köln
- Körner, I.; Maltz, I.; Ritzkowski, M.; Hartz, J.; Jensen, U.; Brilsky, H.; Stegmann, R. (1996): Stickstoffdynamik bei der Kompostierung. In Stegmann (Hrsg): Neue Techniken der Kompostierung. Hamburger Berichte 11, Dokumentation des 2. BMBF-Statusseminars in Hamburg, 6. - 8. November 1996, S. 37-54
- Krauß, P.; Krauß, T.; Wilke, M.; (1996): Bioabfallkompostierung V - Zusammensetzung von Bioabfällen nach Stoffgruppen. Im Auftrag des Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Luft, Boden, Abfall Heft 46, Stuttgart
- Kreuzer, M.; Zehrhusen, A. (1995): Neuer mikrobieller Futterzusatz - Wirkungen bei Sauen und Ferkeln, Kraffutter 3, S. 98-100; zit. bei Schneider-Böttcher (2001)
- Kübler, H.; Nimmrichter, R. (2000): Zusammenstellung von ausgewählten Daten zur Aufbereitung und Vergärung von Bioabfall. Kurzstudie der Gesellschaft für Recycling von Energie und Abfall mbH (REA) im Auftrag des ifeu-Institut Heidelberg, München
- Kühn, I. (1998): Neue Erkenntnisse über die Wirkung von Probiotika in der Tierernährung, Kraftfutter 4, S. 140-144; zit. bei Schneider-Böttcher (2001)
- Landbank (1994): The phosphate report. Landbank Environmental Research & Consulting, London; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)
- Lang, W. (2004): Persönliche Mitteilung. Unimelt, Würzburg
- Laun, T.; Läßle, F.; Ptok, B. (2003): Probiotika - Zwischen Hoffnung und Humbug. Pharmazeutische Zeitung, 47/2002, GOVI-Verlag; Internet-Informationsangebot unter: <http://www.pharmazeutische-zeitung.de/pza/2002-47/titel.htm>
- Lederhaus (2003): Informationsangebot des Lederhauses Duisburg. Internetdarstellung unter: <http://www.lederhaus.de/wissen/#geschichte>
- Lohmann (2003): Produktinformation der Lohmann Animal Health GmbH & Co.KG - TOYOCE-RIN 10<sup>10</sup>®; Internetdarstellung unter: <http://www.lah.de/fachinfos/produktinfo/deutsch>
- Losand, B. (2000): Schweineernährung ohne Leistungsförderer? Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 21, Februar 2000
- Lurgi Life Science (2003): Zitronensäure-Prozess. <http://www.lurgi-lifescience.com>
- Mackensen, E. (1995): Entsorgung von Kondensat von Druckluftanlagen. IKZ - Haustechnik 10, Strobel-Verlag, Arnsberg
- Märkl, H.; Stegmann, R. (Hrsg.) (1994): Anaerobe Behandlung von festen und flüssigen Rückständen. Beiträge zu einer Veranstaltung des Sonderforschungsbereiches 238 der Deutschen Forschungsgemeinschaft in Zusammenarbeit mit der DECHEMA - Fachsektion Biotechnologie, 2. bis 4. November 1994, DECHEMA Vol. 130
- Merck (2004): Die Merk Chemie Datenbanken - ChemDAT-online. <http://chemdat.merck.de>
- Merkel, J. (2000): Kälberdurchfall, Den Darm mit Probiotika sanieren, Handbuch der tierischen Veredlung, S. 443-453, Kamlage Verlag GmbH & Co. Osnabrück; zit. bei Schneider-Böttcher (2001)
- Merten, T.; Liedtke, C.; Schmidt-Bleek, F. (1995): Materialintensitätsanalysen von Grundwerk- und Baustoffen (1) - Die Werkstoffe Beton und Stahl. WIKUE - Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie, Wuppertal-Papers Nr. 27, Wuppertal
- Metsä-Serla (1994): Persönliche Mitteilung der Firma Metsä-Serla, Kirkniemi, Finnland; zit. bei Dall'Acqua et al. (1999)

- Miguel et al. (2002) : zit. bei Eisele 2003
- Moore, P.R.; Enenson, A.; Luckey, T.D.; McCoy, E.; Elvehjem, C.A.; Hart, E.B. (1946): Use of sulfasuxidine, streptothricin and streptomycin in nutritional studies with the chick. J. Biol. Chem. 16, S. 437-441; zit. bei Borger (2003)
- Net-Lexikon (2003): Ammoniumsulfat. <http://www.net-lexikon.de/Ammoniumsulfat.html>
- Net-Lexikon (2003a): Natriumnitrat. <http://www.net-lexikon.de/Natriumnitrat.html>
- N.N.: Angaben eines anonymen Herstellers
- N.N. (1998): China Guangxi Liuzhou Rare Earth Animal & Plant Additive Group Co. Ltd., Firmenschrift 1998; zit. bei Richter (2002)
- N.N. (1997): Produktbeschreibung der Fa. Orion Pharma, Turku, Finnland zum Handelsprodukt Broilact®. Internetdarstellung unter: <http://www.orionpharma.com/page?id=1688>
- Nemecek, T.; Heil A.; Huguenin, O.; Meier, S.; Erzinger S.; Blaser S.; Dux. D.; Zimmermann A. (2003): Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent 2000, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, FAL & FAT, Duebendorf
- Ostermayer, A. u.a. (1999): Ökobilanz der PET-Stoffkreislauf-Flasche und anderer Getränkeverpackungssysteme. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg
- Patyk, A.; Reinhardt, G. (1997): Düngemittel - Energie- und Stoffstrombilanzen. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden
- Rambeck, W. (2004a): Persönliche Mitteilung zum Leistungspotential Seltener Erden-Produkte, Telefonat vom 21.01.2004
- Rambeck, W.A.; He, M.L.; Chang, J.; Arnold, R.; Henkelmann, R.; Süß, A. (1999): Possible role of Rare Earth Elements as growth promoters. Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier, 7. Symposium, Jena: S. 311-317; zit. bei Borger (2003)
- Regener, D.; Gallenkemper, B.; Heyer, K.-U.; Stegmann, R. (1997): Ablagerung von Schlacken aus Hausmüllverbrennungsanlagen vor dem Hintergrund der Anforderungen der TA Siedlungsabfall. Korrespondenz Abwasser 44, Nr.1, S. 122-127
- Rentz, O.; Püchert, H.; Penkuhn, T.; Spengler, T. (1996): Stoffstrommanagement in der Eisen und Stahlindustrie. Deutsch- Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU), Karlsruhe
- Rettenberger, G. (Hrsg.) (1997): Wirtschaftliche Sickerwasserreinigung. Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 10, Economica Verlag, Bonn
- Rettenberger, G.; Stegmann, R. (beide Hrsg.) (1997): Neue Aspekte bei der Deponiegasnutzung. Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 11, Economica Verlag, Bonn
- Richards (2000): persönliche Mitteilung, Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH, Bonn
- Richter, H. (2003a): Persönliche Mitteilung, München, 09.10.2003
- Richter, H. (2003b): Bemerkungen zur Gewinnung von SE-Produkten für die Tierernährung, Literaturangaben, Lutherstadt Wittenberg 26.10.2003
- Risikokommission - ad hoc-Kommission "Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland (2002): Erster Bericht über die Arbeit der Risikokommission. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Risikokommission, Salzgitter

- Risikokommission - ad hoc-Kommission "Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland (2003): Abschlussbericht der Risikokommission. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit und Soziale Sicherung sowie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Risikokommission, Salzgitter
- Roche Vitamine GmbH (2002): Produktinformation Cylactin®LBC der Firma Roche Vitamine GmbH (jetzt DSM Nutritional Products), Grenzach-Wyhlen
- Römpf (1989): Römpf Chemie Lexikon. Hrsg.: Falbe, J. und Regitz, M., 9. erweiterte und neu bearbeitete Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, S. 206 ff.
- Römpf (1991): Römpf Chemie Lexikon. Hrsg.: Falbe, J. und Regitz, M., 9. erweiterte und neu bearbeitete Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, S. 2937
- Rösch, C. (1996): Vergleich stofflicher und energetischer Wege zur Verwertung von Bio- und Grünabfällen - unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in Baden-Württemberg. Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt (Hrsg.), Wissenschaftliche Berichte FZKA 5857
- Ruppelt (1996): Wirtschaftlicher Drucklufteinsatz im Handwerksbetrieb. IKZ - Haustechnik 19, Strobel-Verlag, Arnsberg
- Sabona (2003): Hilfsstoffe Sorbit, Glukose. [http:// www.sabona.de](http://www.sabona.de)
- Schäfer, T.; Dalboge, H., (1999): Perspectives for Industrial Enzymes – The key to Sustainable Solutions. In: Heiden, Bock, Antranikian (Hrsg.): Industrielle Nutzung von Biokatalysatoren. Ein Beitrag zur Nachhaltigkeit - 15. Osnabrücker Umweltgespräche, Schriftenreihe Initiativen zum Umweltschutz, Bd. 14, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, S. 115-157
- Schäfl, A. (1995): Massen- und Energiebilanzen sowie Disposition von Müllheizkraftwerken. Manuskripte zur Abfallwirtschaft 13.1, Verlag Abfall Now e.V., Stuttgart
- Schill+Seilacher (2003): Vertrauliche persönliche Mitteilung.
- Schill+Seilacher (2003a): Versuchsdokumentation - Interne Dokumentation der Versuche im halbertechnischen Maßstab zum enzymgestützten und enzymfreien Äschern. Durchgeführt im Entwicklungslabor der Fa. Schill+Seilacher AG, Böblingen im Oktober/November 2003
- Schmid, R. D. (2002): Taschenatlas der Biotechnologie und Gentechnik. Kapitel: Enzyme zur Leder- und Textilbehandlung, S. 96 – 97, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim
- Schmidt, A. u. Henriksen, J. (1997): Life cycle assessment of Savinase 10 TA+, a detergent enzyme. SETAC-Congress, Amsterdam
- Schmidt, M., Knörr, W.; Patyk, A.; Höpfner, U. (1998): Evaluierung gängiger Datenmodelle zur Ermittlung verkehrlicher Umweltbelastungen. In: Umweltinformatik 98. Marburg
- Schmitt, T. G.; Welker, A.; Schmidt, S. (2000): Wissenschaftliche Begleitung der Vergärungsversuche (Teilprojekte 1-3). Technologietransferstelle Abwasser + Abfall (Tectra), Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Im Auftrag des Zweckverbandes Abfallwirtschaft Kaiserslautern
- Schneider-Böttcher, I. (2001): Informationsmaterial zu Futterzusatzstoffen. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Juni 2001
- Schuhmann, R. (1997): Betriebserfahrungen mit der Sickerwasserreinigungsanlage Karlsruhe-Ost. In: Rettenberger, G. (Hrsg.) (1997): Wirtschaftliche Sickerwasserreinigung. Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 10, Economica Verlag, Bonn

- Schul, W. et al. (1995): A Life cycle inventory for the production of detergent range alcohol ethoxylates. *Tensides Surfactants Detergents*, 32, Carl Hanser Verlag, München
- Schuller, S. (2001): Seltene Erden als Leistungsförderer beim Geflügel. Untersuchungen an Broilern und Japanischen Wachteln. Dissertation am Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und Tierernährung der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität, München
- Schuller, S.; Borger, C.; He, M.L.; Henkelmann, R.; Jadamus, A.; Simon, O.; Rambeck, W.A. (2002): Untersuchungen zur Wirkung Seltener Erden als mögliche Alternative zu Leistungsförderern bei Schweinen und Geflügel. *Berliner Münchner Tierärztliche Wochenschrift* 115, S. 16-23
- Simon, F.-G. (1995): Alterungsverhalten von MVA-Schlacken. In: *Müll und Abfall* 11, S. 759-764
- Sonesson, U. (1998): System Analysis of Waste Management - The ORWARE Model, Transport and Compost Sub-Models. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering, Agraria 130, Uppsala
- Soyez, K.; Koller, M. (1996): Verfahrensentwicklung zur Kopplung von Kompostierung und Gewächshausproduktion-Ökobilanzierung. Teilvorhaben 3/3, Abschlußbericht im BMBFVerbundvorhaben "Neue Techniken der Kompostierung", Potsdam
- SRU - Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1999): Umwelt und Gesundheit - Risiken richtig einschätzen. Sondergutachten, Verlag Metzler-Poeschel, Stuttgart
- Stalmans, M.; Berenbold, H.; Berna, J.L.; Cavalli, L.; Dillarstone, A.; Franke, M.; Hirsinger, F.; Janzen, D.; Kosswig, K.; Postlethwaite, D.; Rappert, T.; Renta, C.; Scharere, D.; Schick, K. P.; Schul, W.; Thomas, H.; Van Sloten, R. (1995): European life cycle inventory for detergent surfactants production. *Tensides Surfactants Detergents*, 32, Carl Hanser Verlag, München, S. 84-109
- StörfallV - Störfall-Verordnung (12. BImSchV) (2000): Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Artikel 1 der Verordnung zur Umsetzung EG-rechtlicher Vorschriften betreffend die Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen). Stand 26.04.2000, BGBl I 2000, 603, 03.05.2000
- SUVA - Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (2003): Kennen Sie das Gefahrenpotential im Betrieb? Das Gefahrenportfolio schafft einen Überblick. <http://www.suva.ch>
- System (2003): Produkt Sorbitol 70 %ige Lösung. <http://www.system.de>
- Thomé-Kozmiansky, K.J. (Hrsg.) (1994): Thermische Abfallbehandlung. EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik, Berlin
- TRBA 400 - Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe (2001): Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen. Erstellt vom ABAS - Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe, letzte Änderung vom 01.03.2002, <http://www.baua.de>
- TRGS 300 - Technische Regel für Gefahrstoffe (1995): Sicherheitstechnik. Erstellt vom AGS - Ausschuss für Gefahrstoffe. Ausgabe Januar 1994 mit Änderungen und Ergänzungen Mai 1995, <http://www.baua.de>
- TRGS 440 - Technische Regel für Gefahrstoffe (2002): Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen durch Gefahrstoffe am Arbeitsplatz: Ermitteln von Gefahrstoffen und Methoden zur Ersatzstoffprüfung. Erstellt vom AGS - Ausschuss für Gefahrstoffe, Ausgabe März 2001 - zuletzt geändert BarbBl. Heft 3/2002, <http://www.baua.de>

- TRGS 900 - Technische Regel für Gefahrstoffe (2003): Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz „Luftgrenzwerte“. Erstellt vom AGS - Ausschuss für Gefahrstoffe, Ausgabe Oktober 2000 - zuletzt geändert BarbBl. Heft 9/2003, <http://www.baua.de>
- TRGS 903 - Technische Regel für Gefahrstoffe (2002): Biologische Arbeitsplatztoleranzwerte - BAT-Werte. Erstellt vom AGS - Ausschuss für Gefahrstoffe, Ausgabe April 2001 - zuletzt geändert BarbBl. Heft 10/2002 - berichtigt BarbBl. Heft 1/2003, <http://www.baua.de>
- TRGS 905 - Technische Regel für Gefahrstoffe (2003): Verzeichnis krebserzeugender, erbgut-verändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe. Erstellt vom AGS - Ausschuss für Gefahrstoffe, Ausgabe März 2001 - zuletzt geändert BarbBl. Heft 9/2003, <http://www.baua.de>
- TRGS 907 - Technische Regel für Gefahrstoffe (2002): Verzeichnis sensibilisierender Stoffe. Erstellt vom AGS - Ausschuss für Gefahrstoffe, Ausgabe Oktober 2002, <http://www.baua.de>
- Trommer, B.; Kellert, H.-J. (1999): Ökologischer Vergleich verschiedener Gerbarten. Leder & Häute Markt, 6/99, S. 25-36
- Turk, M. (1997): Ablagerungsverhalten thermisch vorbehandelter Restabfälle. In: BWK-Arbeitsgruppe "Restabfallbehandlung". Bilitewski, B.; Stegmann, R. (Hrsg.): Beihefte zu 33. Mechanisch-biologische Verfahren zur stoffspezifischen Abfallbeseitigung
- UBA - Umweltbundesamt (1992): Ökobilanz Rapsöl. Berlin
- UBA - Umweltbundesamt (1999): Thermische, mechanisch-biologische Behandlungsanlagen und Deponien für Siedlungsabfälle in der Bundesrepublik Deutschland. UBA FG III.3.3, Berlin
- VCI - Verband der chemischen Industrie (1998): Konzept für die Zusammenlagerung von Chemikalien - Leitfaden. Stand Juli 1998, <http://www.vci.de>
- VCI - Verband der chemischen Industrie (2004): Expositions-kategorien: Mensch und Umwelt gezielt schützen. Ein Konzept für die sichere Anwendung chemischer Stoffe durch Charakterisierung und Kommunikation ihrer Risiken zur Umsetzung von REACH - vorgeschlagen von der chemischen Industrie. <http://www.vci.de>
- Vriens, R (1994): How will Europa survive, Methanol supply/demand outlook 1993-1997. World Methanol Conference, Geneva
- Weber, B. (1990): Minimierung der Emissionen der Deponie. Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, Heft 74, Hannover
- Wiemer, K.; Kern, M.; Mayer, M. (1996): Leitfaden Bioabfallvergärung. Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie, im Auftrag des Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg.), Luft, Boden, Abfall Heft 45
- Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.) (1992): Verfahrenstechnik der Bioabfallkompostierung. Abfall-Wirtschaft 10, Fachgebiet Abfallwirtschaft und Recycling, Universität Kassel - Standort Witzenhausen, M.I.C. Baeza Verlag, Witzenhausen
- Wiemer, K.; Kern, M. (1998): Kompost-Atlas 1998/99. Anlagenhandbuch: Kompostierung, Anaerobotechnik, Mechanisch-biologische Abfallbehandlung und Aggregate. Neues aus Forschung und Praxis. Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie, in Zusammenarbeit mit der Bundesvereinigung Humus- und Erdenwirtschaft e.V., Köln
- Wilderer, P.; Faulstich, M.; Christ, O. (1996): Vergärung von Bioabfällen. Kurzbericht zur wissenschaftlichen Begleitung der BIOTAB-Anlage Kaufbeuren. TU München, Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.), Abteilung Abfallwirtschaft, München

- Würdinger, E.; Roth, U.; Wegener, A.; Peche, R.; Rommel, W.; Kreibe, S.; Nikolakis, A.; Rüdenauer, I.; Pürschel, C.; Ballarin, P.; Knebel, T.; Borken, J.; Detzel, A.; Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Möhler, S.; Patyk, A.; Reinhardt, G. A.; Vogt, R.; Mühlberger, D.; Wante, J. (2002): Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen: Vergleichende Ökobilanz für Loose-fill-Packmittel aus Stärke bzw. Polystyrol. Endbericht zum Vorhaben Az. 04763 im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Augsburg
- Yu Zongsen; Chen Minbo (1995): Rare Earth Elements and their Applications. Metallurgical Industry Press, Beijing 1995, Processing of mixed ore of bastnasite and monazite, S. 44-57
- Zissel, A. (1988): Arbeiten der Wasserwerkstatt bei der Lederherstellung. In: H. Herfeld (Hrsg.): Bibliothek des Leders. Bd. 2, Umschau Verlag, Frankfurt a.M.