

Texte

04
07

ISSN
1862-4804

Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle

**Umwelt
Bundes
Amt**



Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 205 33 313
UBA-FB 000959



Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle

von

**Florian Knappe
Andreas Böß
Horst Fehrenbach
Jürgen Giegrich
Regine Vogt**

Ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg

**Günter Dehoust
Doris Schüler
Kirsten Wiegmann
Uwe Fritsche**

Öko-Institut für angewandte Ökologie, Darmstadt

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.umweltbundesamt.de>
verfügbar.

Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 3.2
Susann Krause

Dessau, Februar 2007

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA FB	2.	3. Sonderabfallentsorgung
4. Titel des Berichts Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Ökoinstitut: Dehoust, Günter; Fritsche, Uwe; Schüler, Doris; Wiegmann, Kirsten Ifeu-Institut: Knappe, Florian; Böß, Andreas; Fehrenbach, Horst; Giegrich, Jürgen; Vogt, Regine;		8. Abschlussdatum Juni 2006
		9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Wilckensstraße 3 D-69120 Heidelberg Öko-Institut für angewandte Ökologie e.V. Rheinstraße 95 D-64295 Darmstadt		10. UFOPLAN-Nr. 205 33 313
		11. Seitenzahl 204 (+ 31 als Anhang)
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau		12. Literaturangaben 164
		13. Tabellen und Diagramme 71 (+ 7 im Anhang)
		14. Abbildungen 49 (+ 12 im Anhang)
16. Zusammenfassung Die effektive Nutzung der in Rest- und Abfallstoffen enthaltenen Wertstoffe leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und zur Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen. Um den potenziellen Beitrag von Biomasserest- und -abfallströmen umfassend nutzen zu können, ist es notwendig, diese im Zusammenhang mit dem gesamten Biomassepotenzial zu betrachten. Im Rahmen des Projektes wurden relevante Stoffströme biogenen Ursprungs in der Forstwirtschaft, der Landwirtschaft und im industriellen Bereich identifiziert und Optimierungspotenziale aufgezeigt. Nach einer Bewertung dieser erfolgte unter Berücksichtigung der Schutzgutanforderungen die Entwicklung von Szenarien zur zukünftig optimierten Nutzung und Verwertung der Biomasseströme und Biomassereststoffe. Aus Sicht des Klimaschutzes besonders erfolgversprechend ist die energetische Nutzung der Teilmenge Stroh, die nicht zur Sicherung einer ausreichenden Humusreproduktion benötigt wird und zurzeit noch auf dem Feld verbleibt. Aufgrund der hohen Massenrelevanz ist eine energetische Nutzung der Gülle ähnlich erfolgreich, ohne deren Eignung als Wirtschaftsdünger negativ zu beeinflussen. Der Trend zur verstärkten energetischen Nutzung der Sägerückstände als Brennstoff in Kofeuerungsanlagen (Pellets) wird durch die Ergebnisse der Untersuchung gestützt. Für Bioabfälle aus Haushalten bietet sich eine Vergärung bei optimierter Energienutzung und verstärkter Vermarktung der aerob nachbehandelter Komposte zur Torfsubstitution an, für die bislang weitgehend über den Restabfall entsorgten Altspeisefette dagegen eine getrennte Sammlung und die direkte Nutzung in als BHKW ausgelegten Motoren. Erfolgt die energetische Verwertung der derzeit oder zukünftig stofflich nicht mehr verwertbaren Biomassen Tiermehl und kommunale Klärschlämme über Monoverbrennungsanlagen, lassen sich vor allem über die Asche bedeutende Erfolge in der Rückgewinnung des Rohstoffs Phosphor erzielen. Diese technischen Optionen müssen sich jedoch im Entsorgungsmaßstab noch bewähren.		
17. Schlagwörter Stoffstrommanagement; Biomasseabfälle; Klimaschutz; Schutzgüter; vergleichende Bewertung; Potenziale; Pellet; Wirtschaftsdünger; Ernterückstände; Tiermehl; Klärschlamm; Altspeisefette; Bioabfall		
18. Preis	19.	20.

Report Specifications

1. Report Number UBA FB	2.	3. Special waste disposal
4. Report Title Material stream management of biomass wastes for the optimization of organic wastes utilization		
5. Author(s), Surname(s), Given Name(s) Ökoinstitut: Dehoust, Günter; Fritsche, Uwe; Schüler, Doris; Wiegmann, Kirsten Ifeu-Institut: Knappe, Florian; Böß, Andreas; Fehrenbach, Horst; Giegrich, Jürgen; Vogt, Regine;		8. Date of Completion June 2006
		9. Date of Publication
6. Participating Institution (Name, Addresses) ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Wilckensstraße 3 D-69120 Heidelberg Öko-Institut für angewandte Ökologie e.V. Rheinstraße 95 D-64295 Darmstadt		10. UFOPLAN-No. 205 33 313
		11. Number of Pages 204 (+ 31 as Appendix)
7. Sponsor Institution (Name, Address) Federal Environmental Agency Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau		12. Literature Information 164
		13. Tables and Diagrams 71 (+ 7 in Appendix)
		14. Figures 49 (+ 12 in Appendix)
16. Summary The effective use of the valuable substances found in waste materials can make an important contribution to climate protection and the conservation of fossil and mineral resources. In order to harness the potential contribution of biomass waste streams, it is necessary to consider the potential of the waste in connection with that of the total biomass. In this project, relevant biogenous material streams in the forestry, the agriculture as well as in several industries are studied, and their optimization potentials are illustrated. Scenarios are then developed, while taking various other environmental impacts into considerations, to explore possible optimized utilization of biomass streams and biomass waste substances for the future. Straw that is not needed for humus production and currently left on the field can be used for its energy content. The realisation of this potential would be significant contribution towards climate protection. The energetic use of liquid manure without negatively influencing its application as commercial fertilizer can also be similarly successful because of its large volume. The results of our study also support an increased energetic use of saw residues as fuel (in form of pellets) in small furnaces. For household organic wastes, the report suggests the fermentation with optimized energy use and intensified marketing of the aerobically treated compost as peat substitution. While for waste cooking fat that is currently disposed in the residual waste, a separate collection and direct use in motors that are used as combined heat and power generation are recommended. For meat and bone meal and communal sludge that are not being used substantial currently or in the future, phosphorus can be recovered with promising success from the ash produced when the waste is burnt in mono incinerators. These technical options should however be tested against disposal standard.		
17. Keywords Material stream management; biomass waste; climate protection; environmental impacts; comparative evaluation; potentials; pellet; commercial fertilizers; harvest residuals; meat and bone meal; sludge; waste cooking fats; organic waste		
18. Price	19.	20.

Vorwort

Mit dem Forschungsprojekt „Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle“ sollen die Stoffströme im Bereich der Biomasseabfälle identifiziert werden, die aus Sicht des Klima- und Ressourcenschutzes optimiert werden können. Diese Optimierung bzw. die Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft zur ressourcenschonenden Stoffwirtschaft darf nicht zu Lasten schutzgutbezogener Anforderungen gehen. Entsprechend der Zielstellung wurden die sich bietenden Optionen umfassend bewertet.

Angesichts der Entwicklung, die die Abfallwirtschaft seit Beginn der 90er Jahre genommen hat, sind zum heutigen Zeitpunkt keine großen Ressourcenschonungspotenziale mehr zu erwarten, die durch einzelne Maßnahmen in der Abfallwirtschaft erschlossen werden können. Beispielsweise wird mit dem aktuellen Stand der Bioabfallkompostierung bereits jetzt ein positiver Beitrag zum Klimaschutz geleistet, da durch vermiedene Deponierung erhebliche Methanemissionen vermieden werden. Um künftig weitere Steigerungen erzielen zu können, werden zahlreiche kleinere Maßnahmen sowie eine Ausweitung des „Abfallblicks“ auf landwirtschaftliche Reststoffe (die im juristischen Sinn keine Abfälle darstellen) und Produkte, auf Produktion und Konsum notwendig sein. Das dabei genutzte Instrument der Materialflussanalyse soll auch bei der Untersuchung weiterer Materialströme genutzt werden.

Bei Umsetzung aller im Projekt entwickelten Szenarien sind im günstigsten Fall weitere 15 Mio. t an CO₂-Äquivalenten durch eine Optimierung der Verwertung biogener Rest- und Abfallstoffe erzielbar. Dazu kommen die aufgezeigten Möglichkeiten der Rückgewinnung der mineralischen Ressource Phosphat.

Die Umsetzung der aufgezeigten Optimierungsmöglichkeiten in die Entsorgungsrealität bedarf an einigen Stellen noch der Technikentwicklung. Es bedarf teilweise noch der innovativen und betriebssicheren Technologien bspw. adaptiert an die besondere Prozess- und Emissionssituation bei der Biomassenutzung. In vielen Fällen sind damit Kosten verbunden, die deren Realisierung bislang noch behindern. Dies gilt auch für die Kosten der aufgezeigten Ansätze zur Rückgewinnung von Phosphat im Verhältnis zu den heute noch niedrigen Rohphosphatpreisen.

Da Deutschland aber über keine eigenen Rohphosphatvorkommen verfügt, sind wir zu 100% vom Import von Rohphosphaten, z. T. auch aus politisch instabilen Regionen der Welt, oder den daraus gewonnenen Produkten abhängig. Angesichts der mittel- oder langfristig zu erwartenden Knappheiten auch bei mineralischen Ressourcen, wie dem nicht substituierbaren Phosphor ist die Notwendigkeit offensichtlich, Vorsorge zu treffen und die Abhängigkeit von Importen rechtzeitig zu reduzieren.

Darüber hinaus haben wir in Bezug auf die in Deutschland verwendeten Rohstoffe auch Verantwortung für die außerhalb Deutschlands entstehenden Umweltbelastungen zu tragen: Erhebliche Schadstoffemissionen in Staaten mit geringeren Umweltstandards sowie generell ein Verlust natürlichen Böden durch den Tagebau.

Ökonomische Bewertungen waren nicht Bestandteil des vorliegenden Projekts. Um den Klimaschutzzielen zu entsprechen, wurden schon in der Vergangenheit durch den Gesetzgeber über verschiedene Anreizsysteme und Verordnungen Rahmenbedingungen geschaffen, die neue Strategien zur Klima- und Ressourcenschonung stützen und fördern. Die Ausarbeitung konkreter Instrumente zur Umsetzung der im Rahmen dieses Projektes aufgezeigten Möglichkeiten einer optimierten Stoffstrombewirtschaftung von Biomasseabfällen, bleibt Machbarkeitsstudien vorbehalten.

Ziel dieses Forschungsprojekts war es, Impulse zu geben. Die Entwicklung von Instrumenten erfordert dann u.a. auch eine eingehende Analyse der ökonomischen Randbedingungen.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Zielsetzung 1
2	Aufgabenstellung 1
3	Methodik 2
3.1	Bilanzierungsrahmen 5
3.2	Beurteilungskriterien 6
4	Stoffströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft 11
4.1	Bilanzierungsrahmen und erste Übersicht 11
4.2	Darstellung der Teilsektoren 15
4.2.1	Aktuelle Stoffströme in der Forstwirtschaft 15
4.2.2	Potenziele in der Forstwirtschaft 19
4.2.3	Aktuelle Stoffströme in der Holzindustrie 24
4.2.4	Potenziele in der Holzindustrie 27
4.2.5	Aktuelle Stoffströme: Altholz und Industrierestholz 28
4.2.6	Potenziele: Altholz und Industrierestholz 29
4.2.7	Aktuelle Stoffströme in der Papier- und Zellstoffindustrie 29
4.2.8	Potenziele in der Papier- und Zellstoffindustrie 32
4.2.9	Zusammenfassung und Überblick über die einzelnen Teilsektoren 33
4.3	Identifizierung relevanter Stoffströme aus der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft 38
4.4	Ableitung von Szenarien für die Forst-, Holz- und Papierwirtschaft 39
4.4.1	Szenario: Verstärkter Einsatz von Zellulosedämmstoffen in der Gebäudedämmung und Substitution des Altpapierstroms durch eine verstärkte Nutzung von Waldholz 40
4.4.2	Szenario: Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie 49
4.5	Fazit für die Forst-, Holz- und Papierwirtschaft 57
5	Stoffströme in der Landwirtschaft 60
5.1	Darstellung des Pflanzenbaus 62
5.1.1	Aktuelle Stoffströme: Stroh 62
5.1.2	Potenziele: Stroh 64
5.1.3	Aktuelle Stoffströme: Rüben-, Kartoffelblatt und andere krautige Erntereste 65
5.1.4	Potenziele: Rapsstroh sowie Rüben- und Kartoffelblatt 67
5.2	Darstellung der Reste aus dem Obst- und Weinbau 68
5.3	Darstellung der Viehwirtschaft 69
5.3.1	Aktuelle Stoffströme: Viehwirtschaft 70
5.3.2	Potenzial: Viehwirtschaft 74

5.4	Zusammenfassung und Überblick der einzelnen Teilsektoren	76
5.5	Identifizierung relevanter Stoffströme aus der Landwirtschaft	
	Ableitung von Szenarien für die Landwirtschaft	78
5.6	Ableitung von Szenarien für die Landwirtschaft	78
5.6.1	Szenario: Energetische Nutzung von Stroh	79
5.6.2	Szenario: Energetische Nutzung von Gülle	88
5.7	Fazit für die Landwirtschaft	98
6	Stoffströme aus der und Biotop- und Landschaftspflege	100
6.1	Darstellung der Stoffströme aus der Landschafts- und Biotoppflege	100
6.1.1	Aktuelle Stoffströme: Biotop- und Landschaftspflege	101
6.1.2	Potenziale aus der Biotop- und Landschaftspflege	104
6.2	Szenarien: Abschätzung über die Möglichkeiten einer Nutzung von Biomassen aus Grünanlagen und Pflegeflächen	106
6.2.1	Nutzung als Kompost	106
6.2.2	Energetische Nutzung	108
6.3	Fazit: Reste aus der Biotop- und Landschaftspflege	111
7	Stoffströme in Industrie und Abfallwirtschaft	113
7.1	Rückstände aus der Fleischverarbeitung und Tierkörperbeseitigung	115
7.1.1	Stoffströme und Potenziale: Rückstände aus der Fleischverarbeitung und Tierkörperbeseitigung	115
7.1.2	Identifizierung relevanter Stoffströme für Tiermehl	123
7.1.3	Szenario: Nutzung des Phosphors in Tiermehl	126
7.2	Rückstände aus der Lebensmittel- und Genussmittelindustrie	132
7.2.1	Stoffströme der Rückstände aus der Lebensmittel- und Genussmittelindustrie	132
7.2.2	Potenziale: Rückstände aus der Lebensmittel- und Genussmittelindustrie	135
7.3	Alttextilien	136
7.3.1	Aktuelle Stoffströme und Potenziale: Alttextilien	136
7.3.2	Möglichkeiten einer Optimierung der Biomasseströme	137
7.4	Speiseabfälle	138
7.4.1	Aktuelle Stoffströme und Potenziale: Speiseabfälle	138
7.4.2	Möglichkeiten einer Optimierung des Biomassestroms	138
7.5	Bioabfall aus Haushalten	140
7.5.1	Aktuelle Stoffströme und Potenziale: Bioabfall	140
7.5.2	Möglichkeiten zur Optimierung der Stoffströme	144
7.6	Biogene Anteile im Restabfall	151
7.6.1	Stoffströme der biogenen Anteile im Restabfall	151
7.6.2	Potenziale: biogenen Anteile im Restabfall	155
7.6.3	Szenario: Optimierte Verwertung der Altspeisefette	155
7.6.4	Ergebnisse der Szenariorechnung	156
7.7	Fettabscheiderinhalte	158
7.7.1	Stoffströme: Fettabscheiderinhalte	159
7.7.2	Potenziale: Fettabscheiderinhalte	161
7.8	Kommunale Klärschlämme	161
7.8.1	Stoffströme der kommunalen Klärschlämme	162

7.8.2	Potenziale: kommunale Klärschlämme	164
7.8.3	Szenario: Klärschlammverbrennung	165
7.9	Sonstige Kläranlagenabfälle	170
7.9.1	Stoffströme: sonstige Kläranlagenabfälle	170
7.9.2	Potenziale: sonstige Kläranlagenabfälle	171
7.10	Fazit für Industrie und Abfallwirtschaft	172
8	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse	174
8.1	Biomasseaufkommen	174
8.2	Potenziale	178
8.3	Szenarien	181
9	Schlussfolgerungen für das Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen und –reststoffen	190
10	Literatur	195

Anhang:

1	Fließschemen zur Forst-, Holz und Papierwirtschaft	A-1
2	Dokumentation zur Forst-, Holz und Papierwirtschaft	A-6
2.1	Umrechnungsfaktoren	A-6
2.2	C-, N- und P-Gehalte	A-6
2.3	Dokumentation der einzelnen Stoffströme	A-7
3	Fließschemen Landwirtschaft	A-11
4	Anhang Güllenutzung	A-17
4.1	Heutige Biogasgewinnung aus Gülle	A-17
4.2	Biogaspotenzial und dessen Mobilisierung bis 2020	A-19
4.3	Beschreibung der Prozesskette Güllevergärung und Biogasnutzung	A-20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Wirkungskategorien für die Bewertung von Potenzialen zur Optimierung von Biomasseströmen	9
Tabelle 3-2:	Gesamtemissionen und Verbräuche in Deutschland und ihre aggregierten Umweltwirkungen	10
Tabelle 4-1:	Umrechnungsfaktoren	14
Tabelle 4-2:	Einschlag und Nutzung von Stamm- und Industrieholz	16
Tabelle 4-3:	Angenommener Einsatz von Waldrestholz, sonstigem Schwachholz und sonstigen Brennholzsortimenten zur energetischen Nutzung in 2002	18
Tabelle 4-4:	Holzeinschlag und anfallende Rinde in 2002	19
Tabelle 4-5:	Verschiedene Potenzialabschätzungen für Waldrestholz und sonstiges Schwachholz	21
Tabelle 4-6:	Zusammenstellung der ermittelten Potenziale in der Forstwirtschaft in 2002	23
Tabelle 4-7:	Stamm- und Industrieholzverbrauch in der Holzindustrie in 2002 [Mantau, Bilitewski 2005]	24
Tabelle 4-8:	Eingesetzte Sekundärrohstoffe in der Holzwerkstoffindustrie in 2002	25
Tabelle 4-9:	Aufkommen und Verbleib von Sägenebenprodukten	26
Tabelle 4-10:	Aufkommen an Rinde in der Holzindustrie	27
Tabelle 4-11:	Anfall von Sägenebenprodukten und Rinde in der Holzindustrie in 2002	27
Tabelle 4-12:	Entsorgung von Alt- und Industrieholz in 2002	28
Tabelle 4-13:	Holzstoff, Zellstoff und Altpapierstoff in der deutschen Papierindustrie in 2002	30
Tabelle 4-14:	Reststoffströme in der Papierindustrie und erfasstes Altpapier in 2002	31
Tabelle 4-15:	Potenziale bei der Verwertung von Altpapier und Reststoffen aus der Papierindustrie in 2002	33
Tabelle 4-16:	Einschlag und Nutzung von Holz	35
Tabelle 4-17:	Zusammenstellung der ermittelten Potenziale in der Forstwirtschaft in 2002	36
Tabelle 4-18:	Reststoffe in der Holz- und Papierindustrie, Altholz anfall und Altpapier erfassung - Aufkommen in 2002 und ungenutzte Potenziale	37
Tabelle 4-19:	Datenquellen für das Szenario „Verstärkter Einsatz von Zellulosedämmstoffen in der Gebäudedämmung“	44
Tabelle 4-20:	Datenquelle für das Szenario „Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie“	54
Tabelle 5-1:	Getreidestrohanfall und Nutzung in Deutschland im Jahr 2000	64
Tabelle 5-2:	Potenzialabschätzung für Getreidestroh für das Jahr 2000	65
Tabelle 5-3:	Erntereste ausgewählter Kulturen und deren Nutzung in Deutschland im Jahr 2000	66
Tabelle 5-4:	Biogaspotenzial aus landwirtschaftlichen Reststoffen	68
Tabelle 5-5:	Gülle- und Festmist aufkommen und ihre Gehalte im Jahr 2000	71
Tabelle 5-6:	Verteilung von Festmist- und Güllesystemen, Vergleich der Modelldaten mit der Statistik	72

Tabelle 5-7:	Vergleich der Daten zum Wirtschaftsdüngeranfall mit anderen Quellen; Angaben in Frischmasse	72
Tabelle 5-8:	Annahmen zur aktuellen Gülleenutzung (Bezugsjahr Biogasnutzung 2005, Bezugsjahr Tierexkrementen 2000)	74
Tabelle 5-9:	Potenzial Festmist und Gülle sowie das daraus resultierend Biogaspotenzial (Bezugsjahr Biogasnutzung 2005, Bezugsjahr Tierexkrementen 2000)	75
Tabelle 5-10:	Zusammenstellung der ermittelten Potenziale in der Landwirtschaft im Jahr 2000 (Trocken- und Frischmassen)	78
Tabelle 5-11:	Relativer Beitrag der Strohmitverbrennung an den Gesamtbelastungen für einzelne Wirkungskategorien in Deutschland (eigene Berechnung)	87
Tabelle 5-12:	Überblick über die wichtigsten Szenarioannahmen	91
Tabelle 5-13:	angesetzter Anlagen-Mix der Biogasanlagen in den einzelnen Szenarien	92
Tabelle 5-14:	Überblick über die technischen Parameter der einzelnen Biogasanlagen	93
Tabelle 5-15:	Relativer Beitrag der Biogasnutzung aus Gülle an den Gesamtbelastungen für einzelne Wirkungskategorien in Deutschland (eigene Berechnung)	98
Tabelle 5-16:	Relativer Beitrag der energetischen Biogas- und Strohnutzung an den Gesamtbelastungen für einzelne Wirkungskategorien in Deutschland (eigene Berechnung)	99
Tabelle 6-1:	Derzeitiger Anfall an Biomassen aus der Landschafts- und Biotoppflege	103
Tabelle 6-2:	Biomassepotenzial aus dem Wegebegleitgrün	104
Tabelle 6-3:	Biomassepotenzial von öffentlichen Grünflächen	105
Tabelle 6-4:	Biomassepotenzial aus der Biotoppflege	105
Tabelle 6-5:	Übersicht über das Biomassepotenzial der Schnittreste von Pflegeflächen	106
Tabelle 6-6:	Kenndaten für eine energetische Nutzung von krautiger Biomasse aus Pflegeflächen (Annahmen)	110
Tabelle 7-1:	Stoffdaten für Schlachthofabfälle	117
Tabelle 7-2:	Entsorgung der Erzeugnisse aus Tierkörperverarbeitungsbetrieben	119
Tabelle 7-3:	Menge und Zusammensetzung der aus Fleischbrei erzeugten Produkte sowie Fleischknochenmehl	119
Tabelle 7-4:	Datengrundlage zur Bilanzierung der Tiermehlverwertungsoptionen	127
Tabelle 7-5:	Stoffdaten verschiedener Abfälle aus der Lebensmittelindustrie	135
Tabelle 7-6:	Übersicht über die Entsorgung der Alttextilien	136
Tabelle 7-7:	Aufkommen und Stoffdaten für Speiseabfälle	138
Tabelle 7-8:	Stoffdaten für Bioabfälle aus Haushalten	142
Tabelle 7-9:	Datengrundlage zur Bilanzierung der optimierten Verwertung von Bioabfällen aus Haushalten	148
Tabelle 7-10:	Menge und Zusammensetzung von Fettabfällen	160
Tabelle 7-11:	Zusammensetzung des kommunalen Klärschlammes	163
Tabelle 7-12:	Diskutierte Biomassen und ihre Optimierungspotenziale	172

Tabelle 8-1:	Überblick über die größten primären Biomasseaufkommen in Land- und Forstwirtschaft, ohne erzeugte Nahrungsmittel und Tierfutter in 2001 bzw. 2002	175
Tabelle 8-2:	Jährliches Aufkommen der betrachteten und quantifizierten Biomasseabfälle und Reststoffe	177
Tabelle 8-3:	Potenziale in der Land- und Forstwirtschaft	179
Tabelle 8-4:	Identifizierte Optimierungspotenziale bei sonstiger Industrie und Abfallwirtschaft	181
Tabelle 8-5:	Überblick über die betrachteten Szenarien	182

Tabellen im Anhang

Tabelle A 1	Umrechnungsfaktoren	A-6
Tabelle A 2	Massenanteile der eingesetzten Substrate und deren Beitrag zur Biogasproduktion	A-18
Tabelle A-3	Durchschnittliche Größe von Biogasanlagen im Gesamtbestand und im Zubau im Jahr 2005	A-19
Tabelle A 4	Zusammenfassung des Strommix für die Szenarien I	A-22
Tabelle A 5	Zusammenfassung des Strommix für die Szenarien II	A-23
Tabelle A 6	Darstellung der Wärmenutzung in den Szenarien in Abhängigkeit vom eingesetzten BHKW (eigene Annahmen)	A-24
Tabelle A-7	Gutschrift für eingesparte Emissionen gegenüber unbehandelter Gülle	A-27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Potenzialkategorien, in Anlehnung an [Ifas 2006]	4
Abbildung 3-2:	Systemgrenzen bei der vertiefenden Analyse der relevanten Bioabfallmassenströme – vergleichende Bewertung von Entsorgungsalternativen	6
Abbildung 4-1:	Überblick über die wesentlichen Stoffströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft in 2002 (Inlandsaufkommen bzw. Inlandsverwendung ohne Darstellung der Im- und Exporte) in Mio. t_{atro}	13
Abbildung 4-2:	Überblick über die betrachteten Biomassenströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft in 2002 (in 1.000 t_{atro})	34
Abbildung 4-3:	Schema zum Szenario „Verstärkter Einsatz von Zellulosedämmstoffen in der Gebäudedämmung“	43
Abbildung 4-4:	Szenario „Verstärkter Einsatz von Zellulosedämmstoffen in der Gebäudedämmung“ - Ergebnisse	47
Abbildung 4-5:	Verstärkter Einsatz von Zellulosedämmstoffen in der Gebäudedämmung– Ergebnisse (Fortsetzung)	48
Abbildung 4-6:	Szenario „Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie“	54
Abbildung 4-7:	Ergebnisse für das Szenario „Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie“	55
Abbildung 5-1:	Übersicht über die Massenströme im Bereich Landwirtschaft	61

Abbildung 5-2: Überblick über die Produkte und die betrachteten Reststoffströme in der Landwirtschaft in 2000 (Angabe in Mio. t Trockenmasse) (nach eigenen Berechnungen auf Basis statistischer Daten: BMVEL, 2001)	77
Abbildung 5-3: Systemgrenzen der Betrachtung für Strohnutzung	82
Abbildung 5-4: Jährliche Emissionen an Treibhausgasen bei der Stromproduktion aus Stroh in verschiedenen Kraftwerken [GEMIS 2005]	84
Abbildung 5-5: Jährliche Substitution fossiler Rohstoffe in den Szenarien für Stroh [GEMIS 2005]	85
Abbildung 5-6: Jährliche Emissionen versauernd wirkender Luftschadstoffe bei der Stromproduktion aus Stroh in verschiedenen Kraftwerken [GEMIS 2005]	86
Abbildung 5-7: Jährliche Emissionen eutrophierend wirkender Luftschadstoffe bei der Stromproduktion aus Stroh in verschiedenen Kraftwerken [GEMIS 2005]	86
Abbildung 5-8: Darstellung der Systemgrenzen für die Analyse der Gülle-Stoffströme	90
Abbildung 5-9: Jährliche Emissionen von Treibhausgasen in den einzelnen Szenarien	94
Abbildung 5-10: Jährliche Inanspruchnahme fossiler Rohstoffe in den Szenarien für Gülle	95
Abbildung 5-11: Jährliche Emissionen versauernd wirkender Emissionen in den einzelnen Szenarien	96
Abbildung 5-12: Jährliche Emissionen von eutrophierend wirkenden Emissionen (Atmosphäre)	97
Abbildung 6-1: Übersicht über die Massenströme im Bereich Biotop- und Landschaftspflege	100
Abbildung 6-2: Verwertung der Grünabfallkomposte [EdDE 2005]	107
Abbildung 6-3: Nutzung von Biomasse aus Pflegeflächen	109
Abbildung 6-4: Maximale Transportentfernung angesichts des Energieerzeugungspotenzials der Zuladung in Abhängigkeit von Transportmittel und spez. Energieausbeute für krautige Biomasse	110
Abbildung 7-1: Übersicht über die Massenströme in der Abfallentsorgung	114
Abbildung 7-2: Inländische Fleischerzeugung für das Jahr 2003 (Angaben in Tonnen) [ZMP 2005]	115
Abbildung 7-3: Übersicht über die Massenströme bei der Fleischerzeugung	116
Abbildung 7-4: Stoffflüsse für Schlachthofabfälle	117
Abbildung 7-5: Stoffflüsse für die erzeugten Tierfette	120
Abbildung 7-6: Stoffflüsse für Fleischknochenmehl [STN 2005]	121
Abbildung 7-7: Stoffflüsse für Tiermehl [STN 2005]	122
Abbildung 7-8: Bilanzierungsergebnisse für die verschiedenen Arten der Verwertung von 203.600 Jahrestonnen Tiermehl - Ressourcenschonung	129
Abbildung 7-9: Bilanzierungsergebnisse für die verschiedenen Arten der Verwertung von 203.600 Jahrestonnen Tiermehl – weitere Umweltwirkungen	130
Abbildung 7-10: Übersicht über die Massenströme bei der Lebens- und Genussmittelindustrie	133

Abbildung 7-11: Übersicht über die Stoffströme bei der Verwertung von Bioabfällen aus Haushalten	142
Abbildung 7-12: Verwertung der Komposte aus der Behandlung der Bioabfälle aus Haushalten [EdDE 2005]	143
Abbildung 7-13: Stoffflüsse für Bioabfall aus Haushalten	144
Abbildung 7-14: Bilanz - Ergebnisse für einen optimierten Verwertungsansatz für Bioabfall	149
Abbildung 7-15: Bilanz - Ergebnisse für einen optimierten Verwertungsansatz für Bioabfall – weitere Umweltkriterien	150
Abbildung 7-16: Restabfallzusammensetzung, nach Kern [2001]	152
Abbildung 7-17: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung der Verwertung von 250.000 t/a Altspeisefette	157
Abbildung 7-18: Stoffflüsse bei der Entsorgung von Fettabscheiderinhalten	160
Abbildung 7-19: Klärschlamm Entsorgung im Jahr 2001 nach Angaben des Statistischen Bundesamts	163
Abbildung 7-20: Stoffströme bei der derzeitigen Entsorgung kommunaler Klärschlämme	164
Abbildung 7-21: Skizze der diskutierten Entsorgungsalternativen für kommunale Klärschlämme	166
Abbildung 7-22: Ergebnisse der optimierten Entsorgung von kommunalen Klärschlämmen (2.200.000 t Trockensubstanz)	168
Abbildung 7-23: Ergebnisse der optimierten Entsorgung von kommunalen Klärschlämmen (2.200.000 t Trockensubstanz) - Fortsetzung	169
Abbildung 8-1: Vergleichende Betrachtung der Optimierungspotenziale von Biomasseströmen gegenüber dem Status Quo bzw. dem zu erwartenden zukünftigen Umgang	183

Abbildungen im Anhang

Abbildung A-1: Abschätzung der Massenströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft: Trockenmassen	A-2
Abbildung A-2: Abschätzung der Massenströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft: C-Ströme	A-3
Abbildung A-3: Abschätzung der Massenströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft: Trockenmassen	A-4
Abbildung A-4: Abschätzung der Massenströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft: C-Ströme	A-5
Abbildung A-5: Fließschema Pflanzenbau - Trockenmasse	A-11
Abbildung A-6: Fließschema Pflanzenbau - Kohlenstoff	A-13
Abbildung A-7: Fließschema Pflanzenbau - Stickstoff	A-14
Abbildung A-8: Fließschema Pflanzenbau - Phosphor	A-15
Abbildung A-9: Fließschemen Gülle	A-16
Abbildung A-10: Stand und Entwicklung von Biogasanlagen 12/2005	A-17
Abbildung A-11: Emissionen von Treibhausgasen und versauernd wirkender Gase von verschiedenen BHKW & Biogassysteme eigene Berechnungen auf Basis von [GEMIS 2005] und [Öko-Institut 2004]	A-26
Abbildung A-12: Emissionen von Treibhausgasen und versauernd wirkenden Gasen eines Biogas-BHKW mit und ohne Gutschriften für vermiedene Emissionen aus der Güllelagerung und -ausbringung	A-29

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchV	Bundes-Immissionsschutz-Verordnung
BioP	Biologische Phosphatelimination
BtL	Biomass to Liquid (Biokraftstoff aus thermochemischer Umwandlung)
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
el	Elektrisch
fm	Festmeter
GuD-Kraftwerk	Kombinationskraftwerk mit Gas- und Dampfturbinen
GVE	Großvieheinheiten (500 kg Lebendgewicht)
ha	Hektar
HEKTOR	Hektar Kalkulator
H _u	Unterer Heizwert
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MBA	Mechanisch-Biologische Restabfallbehandlungsanlage
Mio	Millionen
MV	Mitverbrennung
MVA	Müllverbrennungsanlage
NMVOC	Leichtflüchtige organische Verbindungen, ohne Methan
PEV	Primärenergieverbrauch
PJ	Petajoule = 1.000GJ = 1*10 ¹² kJ
PM ₁₀	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner 10 Mikrometer
ROE	Roh-Öl-Äquivalent
Srm	Schüttraummeter
TBA	Tierkörperbeseitigungsanstalt
t _{FM}	Tonnen Frischmasse
Th	Thermisch
t _{atro}	Tonnen absolut trocken
t _{lutro}	Tonnen lufttrocken
t _{TM}	Tonnen Trockenmasse
TMP	Thermo mechanical Pulp

1 Zielsetzung

Ein effektiver Klimaschutz und eine umfassende Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen sind nicht durch einzelne wenige Maßnahmen zu erzielen. Um die formulierten Ziele eines nachhaltigen Umgangs mit knappen Ressourcen zu erreichen, sind alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft auf Ansatzpunkte zu überprüfen, ob und in welchem Maße sie Möglichkeiten zu einer Optimierung der Stoffströme bieten.

Hierzu gehört auch der Umgang mit Biomasse, die als Nebenprodukt, Reststoff oder Abfall in unterschiedlichen Wirtschaftsbereichen neben dem eigentlichen Produkt entsteht und verwertet oder beseitigt werden muss. Dabei ist nicht nur die schadlose und umweltverträgliche Beseitigung der Biomasse-Rest- und -Abfallstoffe sicherzustellen, sondern auch das darin enthaltende Potenzial für eine stoffliche bzw. energetische Verwertung. Im Sinne von Klimaschutz und nachhaltiger Bewirtschaftung fossiler und mineralischer Ressourcen muss auch Biomasse möglichst umfassend genutzt werden.

2 Aufgabenstellung

Mit diesem Projekt sollen die Biomasseabfälle identifiziert werden, deren Bewirtschaftung aus Sicht des Klima- und Schutzes fossiler und mineralischer Ressourcen durch Beeinflussung der Biomasseströme optimiert werden könnte. Optimierungsmöglichkeiten betreffen sowohl die Umlenkung der Stoffströme in andere Entsorgungswege bzw. Nutzungen als auch Effizienzsteigerungen bei der Nutzung der Biomasse (bspw. durch die Optimierung der energetischen Nutzung).

Dabei wird der Rahmen durch die gesamten Biomassestoffströme in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Landschaftspflege gesetzt. Um die Biomassenebenprodukte, -reststoffe oder -abfälle auch im Gesamtzusammenhang aufzeigen zu können, werden - soweit möglich quantitativ - die gesamten Biomassestoffströme aus der Flächenbewirtschaftung über deren Verarbeitung und Herstellung von Produkten betrachtet. Die Aufgabenstellung liegt dabei vor allem in der Identifikation der dabei verbleibenden Reststoffe und ihrer weiteren Verwendung bzw. Entsorgung.

Die Darstellung der gesamten Massenströme dient als Bezugs- und Orientierungsrahmen für die Identifizierung und Analyse der Optimierungspotenziale der unterschied-

lichsten Bioabfälle bzw. Reststoffe. Die Diskussion der Nutzungspotenziale für Reststoffe erfolgt dabei *unabhängig* von der rechtlichen Definition „Abfall“. Betrachtet werden aus fachlicher Sicht sämtliche biogenen Stoffe, die nicht das eigentliche Produktionsziel darstellen, sondern Nebenprodukte, Reststoffe oder eben Abfälle. Dies beinhaltet auch die Biomassen der klassischen Abfallwirtschaft, die in Privathaushalten oder dem Gewerbe zur Verwertung anfallen.

Eine aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen angestrebte Optimierung des Stoffstrommanagements von Biomasseabfällen darf nicht zu Lasten anderer Umweltbelange wie Boden-, Wasserschutz und Luftreinhaltung gehen. Gegenläufige Effekte sind zumindest aufzuzeigen, insbesondere bei der Gefahr von Überschreitungen schutzgutbezogener Anforderungen.

3 Methodik

Für die diskutierten Bereiche, d.h. die Landwirtschaft, die Forstwirtschaft sowie die Abfallwirtschaft, werden in einem ersten Schritt die Biomasseströme in einer Übersicht aufgezeigt. Diese Bilanzierung umfasst sowohl die Produkte als auch die Nebenprodukte, Reststoffe oder Abfälle mit dem Ziel, im Gesamtzusammenhang diejenigen Bioabfallmassenströme zu identifizieren, die aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen als besonders relevant eingestuft werden können bzw. deren bisherige Nutzung oder Entsorgung noch Optimierungsmöglichkeiten erkennen lassen. Die Relevanz ergibt sich demnach aus der Kombination von Massenanstieg und Grad einer möglichen Optimierung. Ein Optimierungsansatz kann eine Beeinflussung des Biomassestoffstroms sein (Stoffstromlenkung oder zusätzlicher Nutzungsschritt) oder eine Optimierung auf Prozessebene bedeuten.

Für die Bewertung der Massenströme muss im zweiten Schritt differenziert werden, welche Mengen insgesamt anfallen und welcher Anteil davon tatsächlich für eine andere Nutzung oder Nutzungsoptimierung zur Verfügung steht. Hierfür wird in den Kapiteln zu Forstwirtschaft, Landwirtschaft und Landschaftspflege jeweils das

- theoretische
- technische/ökologische und das
- noch umsetzbare **Potenzial**

beschrieben.

Die Definition der Potenziale orientiert sich an den Begriffen, die auch für die Abschätzung des Energiepotenzials aus Biomasse gebräuchlich sind [Öko-Institut 2004, Ifas 2006].

Das **theoretische Potenzial** bezeichnet die nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten grundsätzlich angebotene Biomasse, unabhängig von den technischen oder organisatorischen Hemmnissen. Das theoretische Potenzial gibt die maximal verfügbare Biomasse an – je nach Anwendungszweck als Massen- oder Energieeinheit.

Das **technisch-ökologische Potenzial** beschreibt diejenige Teilmenge des theoretischen Potenzials, das unter ökologischen und technischen Restriktionen tatsächlich nutzbar ist.

Die Restriktionen berücksichtigen die Mobilisierbarkeit der Biomasse, technische Nutzungsoptionen und ökologische Restriktionen wie beispielsweise die Wahrung geschlossener Nährstoffkreisläufe, den Schutz von Lebensräumen und die Wachstumsrate. Dieses Potenzial ist für die langfristige Umsetzung relevant, kann aber kurzfristig wegen wirtschaftlicher, politischer oder auch sozialer Restriktionen nicht in voller Höhe erschlossen werden.

Das technisch-ökologische Potenzial berücksichtigt auch die Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung: Da die stoffliche Nutzung in der Regel nicht die anschließende energetische Nutzung ausschließt, genießt die stoffliche Nutzung Priorität.

Das **umgesetzte Potenzial** ist diejenige Menge, die bereits heute in „optimierter“ Weise genutzt wird. Die Differenz zwischen dem technisch-ökologischen Potenzial und dem umgesetzten Potenzial steht hingegen noch zur Mobilisierung zur Verfügung.

Eine Übersicht über die Definition der Potenzialkategorien zeigt die folgende Abbildung.

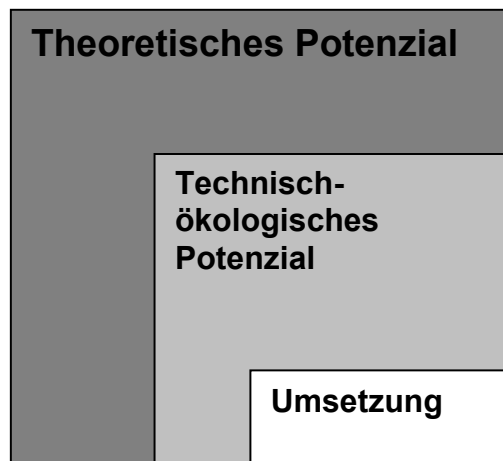


Abbildung 3-1: Potenzialkategorien, in Anlehnung an [Ifas 2006]

Die Einteilung des Potenzials nach vorstehender Definition kann für die Biomasseströme aus der Industrie und Abfallwirtschaft nicht sinnvoll durchgeführt werden. Deshalb werden in diesem Kapitel die Potenziale ohne die beschriebene Unterteilung dargestellt und deren Umsetzbarkeit eingeschätzt.

Die als relevant erkannten Biomasseabfallströme werden einer vertiefenden Analyse unterzogen. Die erkannten Optimierungsansätze werden als Verwertungsoptionen quantitativ bilanziert und nach den verschiedenen Umweltwirkungskategorien bewertet. Maßstab ist jeweils der derzeitige oder zukünftig zu erwartende nicht optimierte Umgang mit den Biomasseabfällen. Die mit der Verwertung bzw. Entsorgung verbundenen Umweltlasten werden bilanziert. Beachtet und in die Bilanzierung mit einbezogen werden auch die mit einer Verwertung angestrebten Erfolge, d.h. die Substitution von Energie oder Produkten, die konventionell unter Nutzung von Primärrohstoffen erzeugt werden müssten.

Eine Optimierung der Bewirtschaftung von Biomasseabfällen kann dabei sowohl eine bessere stoffliche als auch verstärkte energetische Nutzung bedeuten. Optimal sind dabei Nutzungskaskaden im Sinne einer Kombination von energetischer mit vorheriger stofflicher Nutzung oder der umgekehrte Fall. Die wertgebenden Eigenschaften der einzelnen Biomassen lassen sich häufig nicht nur stofflich oder energetisch, sondern nur in einer Kombination aus beidem nutzen. So wird bspw. der Kohlenstoffgehalt einer Biomasse möglicherweise energetisch am besten genutzt. Die ebenfalls wertgebenden Gehalte an Pflanzennährstoffen sollten zusätzlich für eine optimierte Bewirtschaftung nicht ungenutzt bleiben.

3.1 Bilanzierungsrahmen

Der Bilanzierungsrahmen für eine erste Übersicht über die Biomassestoffströme bezieht bei der Forstwirtschaft und der Landwirtschaft die eigentliche Flächenbewirtschaftung mit ein und erstreckt sich über die verschiedenen Stufen der Verarbeitung der landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Rohstoffe bis hin zur Herstellung von Nahrungs- und Genussmitteln sowie Konsumgütern. Es werden dabei jedoch keine Flächenaspekte berücksichtigt, d.h. keine Untersuchungen durchgeführt, inwieweit die Flächenproduktivität zu steigern wäre, Flächen für einen gezielten Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Verfügung stünden oder die Nutzung der bislang als Rückstand auf den Flächen verbleibenden Biomasse mit Belangen des Naturschutzes in Konkurrenz tritt. Diese Aspekte wurden oder werden in anderen Forschungsprojekten aufgegriffen. Im Rahmen dieses Projektes werden die Biomasseabfälle identifiziert, die abkömmlich, d.h. unstrittig, den Flächen entnommen werden können bzw. auch heute schon entnommen werden, ohne die ökologische Wertigkeit dieser Flächen zu gefährden.

Auch im Bereich der Industrie, d.h. der Verarbeitung von Biomassen zu Produkten, werden im Rahmen dieses Projektes keine Aussagen dazu getroffen, inwieweit industrielle Prozesse aus Sicht der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen oder des Klimaschutzes optimiert werden könnten. Soweit Daten und Informationen vorliegen, werden die als Produktionsrückstände anfallenden Biomassen aufgegriffen, ihre derzeitige Entsorgung oder Verwendung beschrieben und daraufhin analysiert, inwieweit diese Biomasseabfallströme aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen besser genutzt werden können. Weitere Biomassen fallen bei Haushalten und Gewerbe als Abfallstoffe an und werden zumindest teilweise innerhalb der Abfallwirtschaft entsorgt. Auch hier können im Rahmen dieses Projektes Anfallmenge und Zusammensetzung nicht hinterfragt werden.

Die aufgrund der Aufgabenstellung des Projektes als relevant erkannten Biomasseabfallströme werden dann vertiefend untersucht und die möglichen Alternativen zur derzeitigen Entsorgung bzw. Nutzung bezüglich ihrer ökologischen Vor- und Nachteile beleuchtet. Für diese vertiefende Untersuchung werden die in die Umwelt freigesetzten oder von der Umwelt entnommenen Stoffe bilanziert, soweit sie die ausgewählten Wirkungskategorien beeinflussen. Dabei werden auch die Vorketten berücksichtigt, d.h. die Umwelteffekte, die bei der Energiegewinnung und Herstellung der Betriebsmittel

auftreten, die für den Prozess der Verwertung der Biomasseabfallströme benötigt werden. Dies sind bspw. elektrische Energie und Treibstoffe.

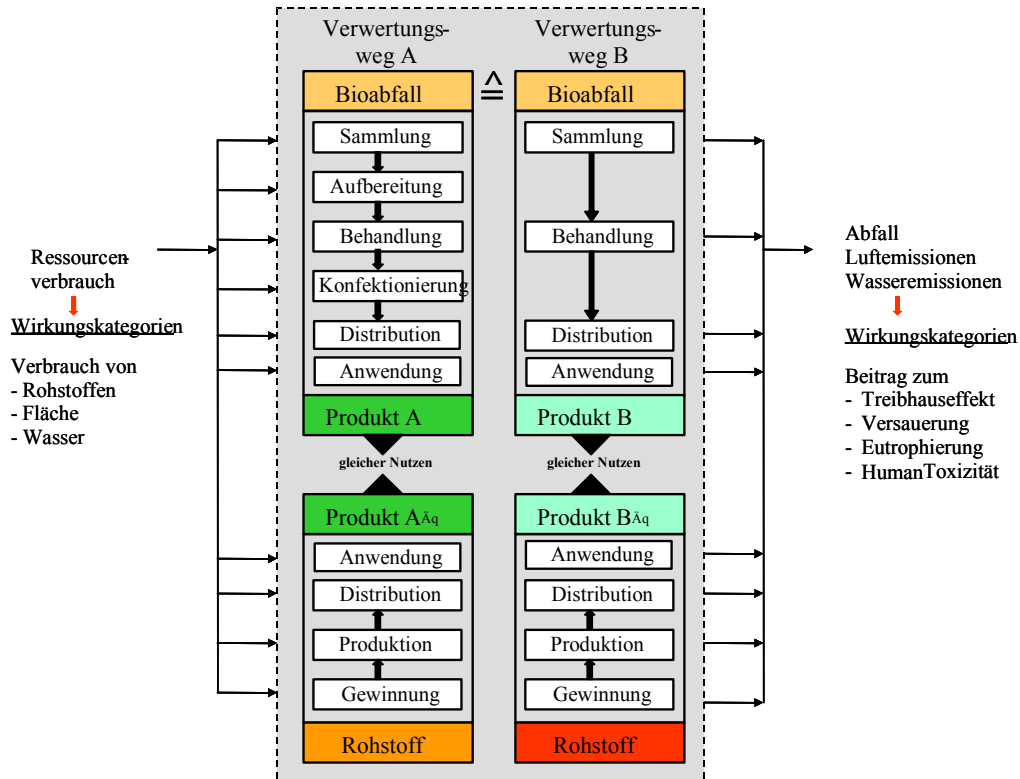


Abbildung 3-2: Systemgrenzen bei der vertiefenden Analyse der relevanten Bioabfall-massenströme – vergleichende Bewertung von Entsorgungsalternativen

Jede Verwertung einer Biomasse wird mit einem bestimmten Ziel verfolgt. Als Ergebnis der Verwertung steht ein Nutzen in Form eines aus Biomasse erzeugten Produktes oder der erzeugten Energie. Das Produkt oder die Energie wird vermarktet und tritt in Konkurrenz zu Produkten oder Energie, die den gleichen Nutzen bereitstellen, aber auf Primärrohstoffe zurückgreifen. Deren Herstellung wird durch den Einsatz der Energie oder Produkte aus Biomasseabfällen vermieden und damit auch alle mit der Erzeugung verbundenen negativen Umweltfolgen sowie die Beanspruchung der mineralischen oder fossilen Ressourcen. Dieser durch die Verwertung der Biomassen erzielbare Substitutionseffekt muss in die Bilanzierung mit einbezogen werden.

3.2 Beurteilungskriterien

Analyse und Bewertung erfolgen mit Hilfe der Kriterien:

- Ressourcenschonung: fossile und mineralische Ressourcen (Phosphor)
- Klimawirkung: Treibhauseffekt
- Schutz von Umweltgütern: Eutrophierung, Versauerung, PM₁₀

Der **Verbrauch von Ressourcen** wird als Beeinträchtigung der Lebensgrundlagen des Menschen angesehen. In allen Überlegungen zu einer dauerhaft umweltgerechten Wirtschaftsweise spielt die Schonung der Ressourcen eine wichtige Rolle. Der Begriff Ressource wird dabei für die Bewertung im Rahmen dieser Studie beschränkt auf erschöpfbare mineralische oder fossile Ressourcen angewendet.¹ Für eine Bewertung der Ressourcenbeanspruchung innerhalb der Wirkungsabschätzung wird üblicherweise die „Knappheit“ der Ressource als Kriterium herangezogen. Werden nur fossile Energieträger in Betracht gezogen, so bietet sich eine Bilanzierung an, die den Nutzwert unter Berücksichtigung der spezifischen Knappheit der einzelnen Energieträger bemisst. Hierfür ist die Berechnung der statischen Reichweiten² der Ressourcen (Braunkohle, Steinkohle, Erdgas und Erdöl) hilfreich [UBA 1995]. Diese Information ist wichtig, um den reinen Verbrauch der unterschiedlichen Rohstoffe auch unter dem Gesichtspunkt der unterschiedlichen Endlichkeit der Ressourcen diskutieren und bewerten zu können. Dies trägt wesentlich zur Unterscheidung beispielsweise der Ressourcen Kohle und Erdöl bei, ist aber in den absoluten Werten nur eingeschränkt aussagekräftig, da immer wieder neue Lagerstätten entdeckt und ausgebeutet werden, die die Reichweiten beeinflussen.

Die Frage der Schonung von Ressourcen wird unter zwei Aspekten diskutiert. Die Schonung der Phosphorerz-Lagerstätten wird problematisiert, indem für die verschiedenen Biomasseströme auch zugleich die Massenbilanzen für Phosphor durchgeführt werden. Je höher der Verbrauch an Phosphor bzw. je höher die in den Wirtschaftskreislauf rückgeführten Phosphormengen, desto höher ist die Beanspruchung oder Schonung der Phosphorerz-Lagerstätten.

¹ Häufig wird der Begriff „Ressourcen“ auch weiter gefasst und schließt bspw. die Umweltmedien Wasser, Boden und Luft mit ein.

² Die „statische Reichweite“ (in Jahren) errechnet sich durch Division der aktuellen Weltreserven (in Tonnen) durch den aktuellen Verbrauch der jeweiligen Ressource (in Tonnen pro Jahr).

Die Berechnung des **Treibhauspotenzials** in Form von CO₂-Äquivalenten wird allgemein anerkannt. Mit dem Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) besteht zudem ein internationales Fachgremium, das sowohl die Methode als auch die entsprechenden Kennzahlen für jede klimawirksame Substanz errechnet und fort-schreibt. Bei der Berechnung von CO₂-Äquivalenten wird die Verweilzeit der Gase in der Troposphäre berücksichtigt; daher stellt sich die Frage, welcher Zeitraum der Klimamodellrechnung für die Zwecke der Ökobilanz verwendet werden soll. Das Umweltbundesamt empfiehlt die Modellierung auf der 100-Jahre-Basis, da sie am ehesten die langfristigen Auswirkungen des Treibhauseffektes widerspiegelt. Die in den Berechnungen des Treibhauspotenzials berücksichtigten Substanzen werden mit ihren CO₂-Äquivalenzwerten [IPCC 2001] aufgelistet. Die Faktoren für Methan regenerativ und fossil entsprechen denen, die bspw. noch für die nationale Berichterstattung benutzt werden.

Die **Eutrophierung** steht für eine Nährstoffzufuhr im Übermaß, sowohl für Gewässer als auch für Böden. In dem Projektzusammenhang wird allein die terrestrische Eutrophierung betrachtet. Zur Berechnung der Nährstoffzufuhr kann zurzeit keine bessere Alternative als die Aggregation in Phosphatäquivalenten [CML 1992], [Klöpffer 1995] genannt werden.

Eine **Versauerung** kann ebenfalls sowohl bei terrestrischen als auch bei aquatischen Systemen eintreten. Verantwortlich ist die Emission säurebildender Abgase. Die Berechnung erfolgt in Form von Säurebildungsemissionspotenzialen [CML 1992], [Klöpffer 1995]. Damit sind insbesondere keine spezifischen Eigenschaften der belasteten Land- und Gewässersysteme vonnöten.

Tabelle 3-1: Wirkungskategorien für die Bewertung von Potenzialen zur Optimierung von Biomasseströmen [CML 1992], [EEA 2002], [Heldstab 2002], [IPCC 2004], [Klöpffer 1995], [WHO 2002]

Wirkungskategorie	Wirkstoff	Wirkfaktor	Äquivalenzeinheit
Treibhauseffekt	CO ₂ fossil	1	kg CO ₂ -Äq/kg
	CH ₄ fossil	21	kg CO ₂ -Äq/kg
	CH ₄ regenerativ	18,25	kg CO ₂ -Äq/kg
	N ₂ O	296	kg CO ₂ -Äq/kg
Versauerung	SO ₂	1	kg SO ₂ -Äq/kg
	NO _x	0,7	kg SO ₂ -Äq/kg
	NH ₃	1,88	kg SO ₂ -Äq/kg
	H ₂ S	1,88	kg SO ₂ -Äq/kg
Eutrophierung, terrestrisch	NO _x	0,13	kg PO ₄ -Äq/kg
	NH ₃	0,346	kg PO ₄ -Äq/kg
PM ₁₀ (Feinstäube)	Primärpartikel	1	kg PM ₁₀ -Äq/kg
	SO ₂	0,54	kg PM ₁₀ -Äq/kg
	NO _x	0,88	kg PM ₁₀ -Äq/kg
	NH ₃	0,64	kg PM ₁₀ -Äq/kg
	Kohlenwasserstoffe	0,012	kg PM ₁₀ -Äq/kg

Feinstäube mit einem aerodynamischen Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$ stehen im Verdacht, ein besonders hohes Toxizitätspotenzial für Menschen zu haben. In zahlreichen Studien wurde der Zusammenhang zwischen Partikelbelastung und Mortalität oder Morbidität erfasst. Im Ergebnis zeigte sich, dass bei einer Erhöhung der Immissionskonzentrationen von PM₁₀ die Mortalität infolge von Atemwegs- und Herz-Kreislauf-erkrankungen stark zunimmt [WHO 2002]. Die großräumige Belastung durch Feinstaub mit einem Partikeldurchmesser von $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM₁₀) wird sowohl durch direkte Emissionen von Feinstaub als auch durch Sekundärpartikel bedingt, die sich aus Vorläufersubstanzen bilden. Dazu zählen NO_x, SO₂, Ammoniak und NMVOC. Die Zuordnung erfolgt mit *aerosol formation factors*, die in der Berichterstattung der EU [EEA 2002] angewendet und auch von der WHO als Indikator für die Luftqualität empfohlen werden [WHO 2002]. Der von Heldstab et al. [2002] für die NMVOC-Emissionen in der Schweiz abgeleitete Mittelwert des PM₁₀-Potenzials beträgt 0,012.

Tabelle 3-2: Gesamtemissionen und Verbräuche in Deutschland und ihre aggregierten Umweltwirkungen

Wirkungskategorie	in 1.000 t/a	Quelle
Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.)	1.018.096	<i>berechnet</i>
N ₂ O	205	[UBA 2006] für 2003
CO ₂	865.000	[UBA 2006] für 2003
CH ₄ fossil	3.582	[UBA 2006] für 2003
Versauerung (SO ₂ -Äq.)	2.745	<i>berechnet</i>
SO ₂	616	[UBA 2006] für 2003
NO _x	1.428	[UBA 2006] für 2003
NH ₃	601	[UBA 2006] für 2003
Eutrophierung, terrestrisch	394	<i>berechnet</i>
NO _x	1.428	[UBA 2006] für 2003
NH ₃	601	[UBA 2006] für 2003
PM ₁₀ (Feinstäube)	2.245	<i>berechnet</i>
Primärpartikel	271	[UBA 2006] für 2003
SO ₂	616	[UBA 2006] für 2003
NO _x	1.428	[UBA 2006] für 2003
NH ₃	601	[UBA 2006] für 2003
Rohöläquivalente	175.374	<i>berechnet</i>
Braunkohle	157.500	PEV 138 PJ [UBA 2006] Annahme Hu = 10,4 MJ/kg
Erdgas	65.120	PEV 3256 PJ [UBA 2006] Annahme Hu = 50 MJ/kg
Erdöl	122.972	PEV 5214 PJ [UBA 2006] Annahme Hu = 42,4 MJ/kg
Steinkohle	65.467	PEV 1964 PJ [UBA 2006] Annahme Hu = 30 MJ/kg

Um die relative Bedeutung der verschiedenen ermittelten Umweltbeiträge zu erkennen und möglicherweise gegenläufige Ergebnisse gegeneinander abwägen zu können, ist es hilfreich, die ermittelten Werte mit der Gesamtbelastung in Deutschland in Beziehung setzen zu können.

4 Stoffströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft

4.1 Bilanzierungsrahmen und erste Übersicht

Die Stoffstromdarstellung umfasst alle wesentlichen biogenen Stoffströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft vom Holzeinschlag bis zur Abfallentsorgung und lässt sich in folgende Bereiche untergliedern³:

- Forstwirtschaft: Bilanziert werden die Gewinnung von Stamm- und Industrieholz, Waldrestholz und sonstigem Schwachholz sowie der Rindenanfall. Die Darstellung erfolgt in Kap. 4.2.1).
- Holzindustrie: Bilanziert werden der Einsatz von Stamm- und Industrieholz sowie der Sekundärrohstoffe Sägenebenprodukte, Industrierestholz und Altholz. Weiterhin werden die Reststoffe Sägenebenprodukte, Industrierestholz und Rinde betrachtet. Die Darstellung erfolgt in Kap. 4.2.3).
- Papier- und Zellstoffindustrie: Bilanziert werden hier der Einsatz von Industrieholz, Sägenebenprodukten und Altpapier sowie der Einsatz der Zwischenprodukte Holzpapierstoff, Zellstoff und Altpapierstoff. Betrachtet werden weiterhin die erzeugten Papierprodukte, der Altpapierkreislauf und die biogenen Reststoffe der Papierindustrie wie Papierschlämme und Rinde. Die Darstellung erfolgt in Kap. 4.2.7).
- Endverbraucher: Bilanziert wird der Verbleib der Fertigwaren beim Endverbraucher. Die Darstellung erfolgt in Kap. 4.2.5 und Kap. 4.2.7)
- Energieerzeugung: Die Energieerzeugung wird für alle Brennstoffsortimente (Waldholz, Sägenebenprodukte, Altholz, sonstige Reststoffe) bilanziert. Die Beschreibung hierzu erfolgt bei der Teilbeschreibung der Teilsektoren, in denen die Brennstoffe erzeugt werden bzw. als Reststoff anfallen.

³ Die Auswahl der relevanten Stoffströme erfolgte nach Auswertung der Literaturquellen, die der Untersuchung zugrunde liegen und in den Darstellungen der Teilsektoren in den folgenden Unterkapiteln dokumentiert sind.

- Abfallwirtschaft: Bilanziert werden hier der Anfall und die Entsorgung von Altholz sowie das Altpapierrecycling. Die Darstellung erfolgt in Kap. 4.2.5 (Altholz und Industrierestholz) und Kap. 4.2.7 (Papier- und Zellstoffindustrie).

Der Bilanzraum ist die Bundesrepublik Deutschland. Importe und Exporte, die vor allem in der Papierindustrie eine große Rolle spielen, werden ebenfalls dargestellt. Das Bezugsjahr zur Beschreibung der Stoffströme ist in der Regel das Jahr 2002. Aktuellere Daten sind für eine Vielzahl der Stoffströme in der Holz- und Forstwirtschaft derzeit nicht verfügbar, so dass in allen Teilsektoren mit dem Bezugsjahr 2002 gearbeitet wurde, um eine einheitliche Basis für die Stoffstromdarstellung vom Holzeinschlag bis zur Entsorgung sicherzustellen. Aktuelle Trends wie Auswirkungen des EEG werden qualitativ beschrieben.

Die nachfolgende Abbildung gibt einen ersten Überblick über die wesentlichen Stoffströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft. Die Zahlen beziehen sich sofern nicht anders vermerkt auf das Inlandsaufkommen bzw. den Inlandsverbrauch. Importe und Exporte sind in dieser ersten Übersicht nicht dargestellt, um die Übersichtlichkeit zu erhalten. Sie werden jedoch in den Detaildarstellungen beschrieben bzw. sind im Detail in den Fließschemen bzw. im Anhang auf Seite A-2 ff. dargestellt.

Die Darstellung der Teilsektoren erfolgt in den folgenden Unterkapiteln. Eine ausführliche Darstellung der Massenströme, aufgegliedert in die Ströme von Trockenmasse, C, N und P, befindet sich im Anhang auf den Seiten A2 – A5. Ebenfalls im Anhang befindet sich eine vertiefende Dokumentation der Daten (Quellen, getroffene Annahmen, Umrechnungsfaktoren u. a.).

Zur Datenqualität ist zu beachten, dass im Bereich der Forst- und Holzwirtschaft systembedingt eine gewisse Datenungenauigkeit besteht. Diese resultiert aus folgenden Faktoren:

- In den Statistiken werden aufgrund der sehr heterogenen Stoffzusammensetzung (verschiedene Baumarten mit unterschiedlichen Parametern, verschiedene Stückigkeiten, verschiedene Maßeinheiten in Forst-, Holz- und Abfallwirtschaft) unterschiedliche Maßeinheiten und Umrechnungsfaktoren verwendet.
- Änderungen der Lagerbestände führen zu Differenzen von Zugang und Verbrauch und sind häufig nicht dokumentiert.

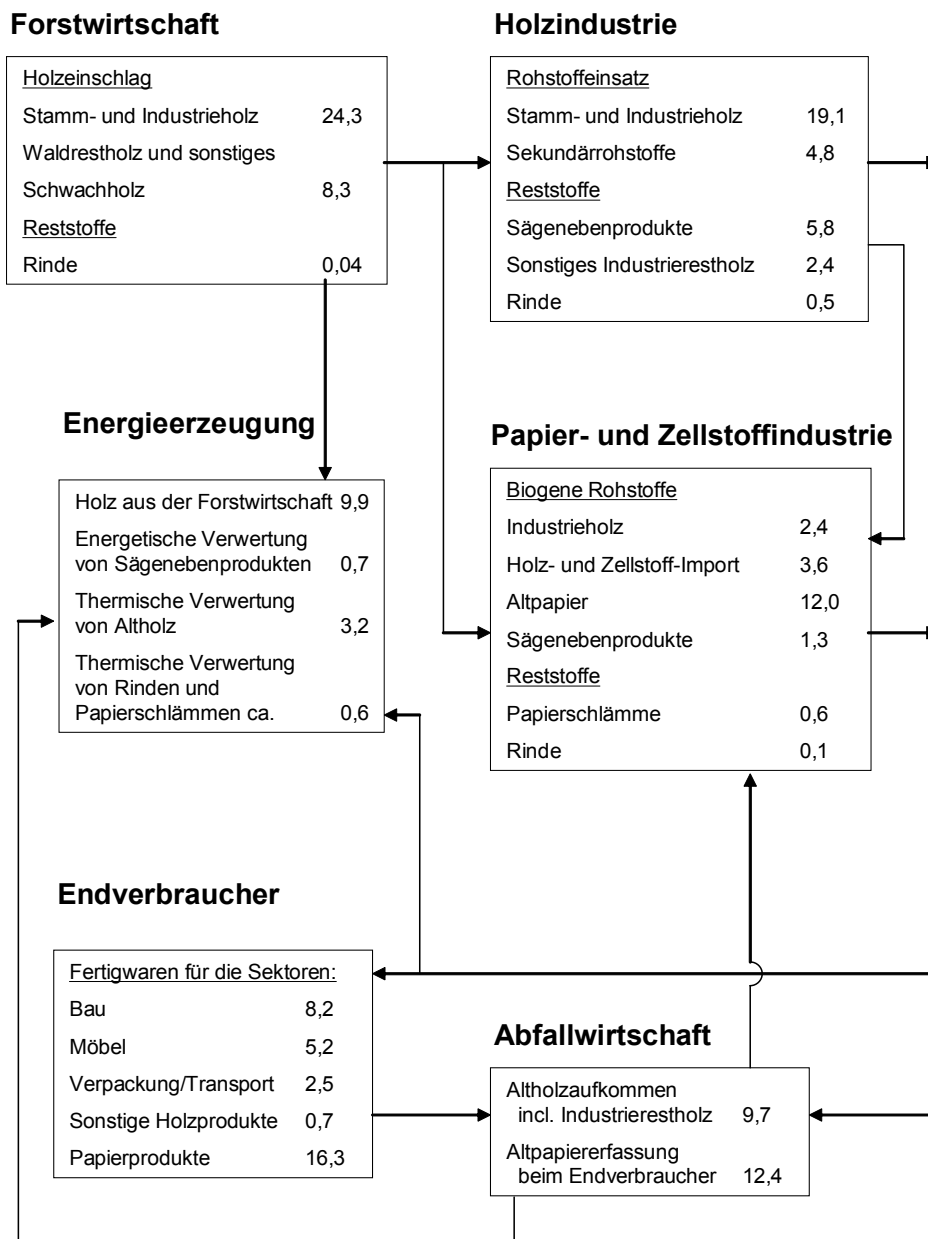


Abbildung 4-1: Überblick über die wesentlichen Stoffströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft in 2002 (Inlandsaufkommen bzw. Inlandsverwendung ohne Darstellung der Im- und Exporte) in Mio. t_{atro}

- Für einige wichtige Stoffströme wie z. B. die Hackschnitzelbereitstellung existieren keine umfassenden Datenerhebungen.

- Die Potenzialabschätzungen im Forstbereich beruhen auf rechnergestützten Modellrechnungen, die wiederum zahlreiche Annahmen beinhalten.
- Ebenso kann der Holzeinschlag nicht exakt bestimmt werden, so dass verschiedene amtliche Statistiken hier zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen [BWI 2002].

Um dennoch eine schlüssige Stoffstromdarstellung zu erarbeiten, wurden eigene Abschätzungen getroffen bzw. Annahmen aus anderen Studien übernommen. Die entsprechenden Annahmen sind in den folgenden Kapiteln dokumentiert.

Für alle Stoffströme wurden die Mengen in t_{atro} (absolut trocken) umgerechnet. Damit sind Stoffströme mit unterschiedlichen Wassergehalten besser vergleichbar. In der Dokumentation im Anhang (Seiten A 7 – A10) sind jedoch auch die ursprünglichen Mengenangaben aus den Quellen in der ursprünglichen Einheit aufgeführt. Folgende Umrechnungsfaktoren wurden angesetzt⁴:

Tabelle 4-1: Umrechnungsfaktoren

Stoffstrom	Faktor	Einheit	Quelle
Holz	0,64	t_{lutro} / fm	Mantau, Bilitewski 2005
Holz und Holzprodukte	0,8	t_{atro} / t_{lutro}	Öko-Institut 2004
Altpapier-, Holz- und Zellstoff	0,9	t_{atro} / t_{lutro}	vdp 2004
Altpapier	0,9	t_{atro} / t_{lutro}	vdp 2003
Rinde	0,5	t_{atro} / t_{lutro}	Marutzky 2004

⁴ t_{atro} : bezieht sich auf die absolut trockene Masse; t_{lutro} : bezieht sich auf die lufttrockene Masse;
fm: Festmeter

4.2 Darstellung der Teilsektoren

4.2.1 Aktuelle Stoffströme in der Forstwirtschaft

Stamm- und Industrieholz

Als Stammholz gilt Rundholz, welches in Sägereien für die Herstellung von Schnittholz und in Furnierwerken für die Herstellung von Furnier Verwendung findet. Als Industrieholz wird Holz bezeichnet, das in Papierfabriken für die Herstellung von Zellstoff oder Holzstoff und in der Holzwerkstoffindustrie für die Herstellung von Span- oder Faserplatten und ähnlichen industriellen Holzprodukten Verwendung findet [BUWAL 2005].

In 2002 wurden nach Mantau et al. [2004] auf Grundlage der Bundeswaldinventur⁵ 47,5 Mio. Festmeter Stamm- und Industrieholz eingeschlagen. Legt man die Umrechnungsfaktoren von 0,64 $t_{\text{luto}}/\text{fm}$ [Mantau, Bilitewski 2005] und 0,8 $t_{\text{atro}}/t_{\text{luto}}$ [Öko-Institut 2004] zugrunde, ergibt sich ein Holzeinschlag von 24,3 Mio. t_{atro} Stamm- und Industrieholz.

Exportiert wurden nach Angaben der BMVEL [2003] (und Umrechnung in t_{atro}) in 2002 2,5 Mio. t_{atro} , importiert wurden 1,2 Mio. t_{atro} ⁶. Genutzt wurden in der Holzindustrie 19,1 Mio. t_{atro} und in der Holz- und Zellstoffindustrie 2,4 Mio. t_{atro} . Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Stoffströme.

In der Rubrik „Holznutzung“ verbirgt sich hinter „Sonstiges“ eine Vielzahl von Einflussfaktoren: Die Aufstockung von Lagerbeständen, statistische Differenzen und die Nutzung von Stamm- und Industrieholz als Brennholz. In der Holzrohstoffbilanz nach Mantau et al. [2004] ist keine Änderung von Lagerbeständen ausgewiesen, so dass im Folgenden davon ausgegangen wird, dass die sonstige Nutzung von 1,5 Mio. t_{atro} im Wesentlichen aus der Brennholznutzung besteht.

⁵ Zweite Bundeswaldinventur von 2001 - 2004

⁶ Dokumentation für die Importe der Holzindustrie, der Papierindustrie und der sonstigen Importe siehe Anhang S. A-8.

Tabelle 4-2: Einschlag und Nutzung von Stamm- und Industrieholz nach Mantau, Bilitewski [2005]

Stoffstrom	Mio. t_{atro}
<u>Holzbereitstellung</u>	
Holzeinschlag	24,3
Import	1,2
Summe Holzbereitstellung	25,5
<u>Holznutzung</u>	
Holzindustrie	19,1
Papierindustrie	2,4
Export	2,5
Sonstiges	1,5
Summe Holznutzung	25,5

Waldrestholz und sonstiges Schwachholz

Neben dem Stamm- und Industrieholz fällt Waldrestholz und Schwachholz an. Die bei der Bereitstellung von Stamm- und Industrieholz anfallenden Ernterückstände (Kronen, Äste etc.) werden als Waldrestholz bezeichnet. Als Schwachholz wird das Holz bezeichnet, das aus Durchforstungsmaßnahmen stammt, die für die Produktion hochwertigen Stammholzes in Zyklen wiederkehrend durchgeführt werden müssen. In dieser Untersuchung wird nach BFH [2001] und Öko-Institut [2004] davon ausgegangen, dass Schwachholz mit einem Mitteldurchmesser > 16 cm als Industrieholz in der Holz- und Papierindustrie stofflich genutzt wird und dass Schwachholz mit einem Mitteldurchmesser < 16 cm zur energetischen Nutzung zur Verfügung steht. Letzteres wird im Folgenden als „sonstiges Schwachholz“ bezeichnet.

Waldrestholz und sonstiges Schwachholz werden ausschließlich für die energetische Nutzung in Form von Hackschnitzeln oder Scheitholz eingesetzt. Hierzu liegen jedoch keine Statistiken vor, sondern lediglich Abschätzungen und Hochrechnungen. Dementsprechend besteht hier eine hohe Datenunsicherheit. Im Folgenden werden die drei Hauptnutzungen, die Wärmeerzeugung in privaten Haushalten, der Einsatz in Heizkraftwerken und der Einsatz in Gewerbe, Dienstleitung, Handel bis 500 kW dargestellt und aus den Ergebnissen der Einschlag von Waldrestholz und sonstigem Schwachholz abgeschätzt, der benötigt wird, um die Holznachfrage zu decken.

a) Wärmeerzeugung in privaten Haushalten

Nach IE [2004] wurden in privaten Haushalten 8,3 Mio. t_{atro} Holz verbrannt. Diese Zahl wurde abgeleitet aus Erhebungen zur Anzahl und Art von Feuerstätten und Annahmen zu den Volllaststunden. Im Rahmen dieses Projekts wurde dann davon ausgegangen, dass der Einsatz von Pellets im Jahr 2002 im Verhältnis zu Waldholz⁷ vernachlässigbar war, da der Gesamtpelletabsatz in der BRD in 2002 nur rund 77.000 t betrug [IE 2004]. Das Umweltbundesamt (UBA) geht im Rahmen der nationalen Emissionsberichtserstattung von einem höheren Holzeinsatz in privaten Haushalten von knapp 10 Mio. t_{atro} aus. Im Bereich Gewerbe wird vom UBA ein geringerer Holzeinsatz als IE [2004] zugrunde gelegt (vgl. Absatz c), wobei die Abweichungen beider Quellen in der Summe (private Haushalte und Gewerbe) nur ca. 0,5 Mio. t_{atro} betragen. Im Folgenden wird mit den Zahlen von IE [2004] gearbeitet, zu denen eine ausführliche Dokumentation vorliegt.

b) Einsatz in Heizkraftwerken

In 2002 wurden 397.000 t Waldholz (Frischmasse), also Holz aus der Forstwirtschaft, in Heizkraftwerken verbrannt [IE 2004]. Dies entspricht bei einem Umrechnungsfaktor von $0,8 \frac{t_{atro}}{t_{lutro}}$ 318.000 t_{atro} .

c) Einsatz in Gewerbe, Dienstleitung, Handel bis 500 kW

Nach Abschätzung von IE [2004] wurden im Bereich „Gewerbe, Dienstleitung und Handel bis 500 kW“ in 2003 1,7 – 2,6 Mio. t/a (Frischmasse) an Holzbrennstoffen eingesetzt. Im vorliegenden Projekt wurde abgeschätzt, dass in 2002 1,28 Mio. t_{atro} Waldholz (Holz aus der Forstwirtschaft) eingesetzt wurden. Dabei wurde von dem Mittelwert ausgegangen unter der Annahme, dass 74 % des Brennstoffsortiments dieser Anlagen aus Waldhackschnitzeln besteht [LWF 2004]. Im Bereich außerhalb der privaten Haushalte ergibt sich damit insgesamt eine angenommene Menge von 1,6 Mio. t_{atro} Waldholz (Summe aus b und c). Das UBA geht in der nationalen Emissionsberichterstattung davon aus, dass außerhalb der privaten Haushalte lediglich rund 0,5 Mio. t_{atro} Waldholz verbrannt werden. Da das UBA im Bereich der privaten Haushalte von einem höheren Holzeinsatz als IE [2004] ausgeht (vgl. Absatz a) und die Abweichungen in der Summe nur bei 0,5 Mio. t_{atro} liegen, wird im folgenden mit den Zahlen von IE [2004] gearbeitet, zu denen eine ausführliche Dokumentation vorliegt.

⁷ Waldholz bezeichnet hier (Brenn)Holz, das direkt aus der Forstwirtschaft stammt, also Waldrestholz, sonstiges Schwachholz und sonstige Brennholzsortimente, die statistisch als Stamm- und Industrieholz erfasst wurden.

In der Summe ergeben sich 9,9 Mio. t_{atro} Waldholz, die energetisch genutzt werden. Neben Waldrestholz und sonstigem Schwachholz werden hier auch Brennholzsortimente eingesetzt, die in der Statistik dem Stamm- und Industrieholz zugeordnet werden (vgl. Abschnitt Stamm- und Industrieholz; Abschätzung einer sonstigen Brennholznutzung von 1,5 Mio. t_{atro}). Zieht man die sonstigen Brennstoffe von 1,5 Mio. t_{atro} von der Nachfrage nach Waldholz von 9,9 Mio. t_{atro} ab, ergibt sich ein Bedarf nach Waldrestholz und sonstigem Schwachholz von 8,3 Mio. t_{atro} .

Die nachfolgende Tabelle stellt die Stoffströme zusammenfassend dar.

Tabelle 4-3: Angenommener Einsatz von Waldrestholz, sonstigem Schwachholz und sonstigen Brennholzsortimenten zur energetischen Nutzung in 2002 nach IE [2004] und eigenen Annahmen

	Trocken- masse 1.000 t_{atro}	C-Strom 1.000 t	N-Strom t	P-Strom t
Energetische Nutzung:				
Private Haushalte	8.300	4.067	13.280	1.660
Heizkraftwerke	318	156	508	64
Gewerbe, Dienstleitung, Handel bis 500 kW	1.280	627	2.048	256
Summe Verbrauch	9.898	4.850	15.836	1.980
Herkunft des Holzes:				
Waldrestholz und sonstiges Schwachholz	8.350	4.091	13.360	1.670
Sonstiges Brennholz	1.548	759	2.476	310
Summe Herkunft	9.898	4.850	15.836	1.980

Die gesamte Menge von energetisch genutztem Waldholz von 9,8 Mio. t_{atro} entspricht bei einem Heizwert von 18,6 MJ/kg $_{atro}$ [Öko 2004] 184 PJ. Das Umweltbundesamt geht bei der nationalen Emissionsberichterstattung basierend auf der nationalen Energiebilanz von einer Verbrennung von Waldholz von rund 193 PJ (davon 183 PJ in Haushalten) in 2002 aus. Damit liegt die Abschätzung des Umweltbundesamt für die Gesamtmenge von energetisch genutztem Waldholz um 5 % bzw. 0,5 Mio. t_{atro} über den hier dargestellten Ergebnissen. Angesichts der allgemeinen hohen Datenunsicherheit zum Einschlag und Verbrauch von Waldholz ist diese Abweichung als gering einzustufen.

Der Ascheanfall aus der Verbrennung von Waldrestholz, sonstigem Waldholz und sonstigem Brennholz wird auf rund 100.000 t/a mit einem Phosphoranteil von rund 2.000 t abgeschätzt (Diskussion der angenommenen Parameter siehe Anhang Seite A-9, Stichwort „Asche“).

Rinde

Nach Marutzky [2004] (basierend auf Erhebungen von Mantau et al. [2004]) verbleiben nach der Waldentrindung 0,038 Mio. t_{atro} Rinde im Wald. Lediglich 2.400 t_{atro} werden genutzt bzw. extern verkauft. Deutlich größere Rindenmengen fallen in den Holz verarbeitenden Sektoren an, v. a. in der Sägeindustrie und der Papierindustrie.

Zusammenstellung der aktuellen Stoffströme in der Forstwirtschaft

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Holzgewinnung in 2002.

Tabelle 4-4: Holzeinschlag und anfallende Rinde in 2002 nach Mantau, Bilitewski [2005], Mantau et al. [2004], IE [2004] und eigenen Annahmen

Stoffstrom	Holzeinschlag Mio. t_{atro}
Stamm- und Industrieholz	24,3
Waldrestholz und sonstiges Schwachholz	8,3
Rindenanfall aus der Waldentrin- dung	0,04

4.2.2 Potenziale in der Forstwirtschaft

Stamm- und Industrieholz

Das Potenzial an Stamm- und Industrieholz lag in 2002 nach Angaben von Mantau et al. [2004] auf der Grundlage der zweiten Bundeswaldinventur bei 70,3 Mio. Festmeter. Legt man die Umrechnungsfaktoren von 0,64 t_{lutro}/fm und 0,8 t_{atro}/t_{lutro} zugrunde, ergibt

sich ein Potenzial von 36 Mio. t_{atro} im Vergleich zum Holzeinschlag von 24,3 Mio. t_{atro} . Hier sind noch keine Nachhaltigkeitskriterien berücksichtigt, so dass man dieses Potenzial als theoretisches Potenzial bezeichnen kann. Das noch ungenutzte theoretische Potenzial beträgt damit 11,7 Mio. t_{atro} .

Bei einer nachhaltigen Waldwirtschaft reduziert sich dieses Potenzial aufgrund der Umsetzung von Nachhaltigkeitskriterien in den Bereichen Waldbiotope, Totholz, Schutz- und Referenzzonen u. a. Nach Öko-Institut [2004] kann für Stamm- und Industrieholz ein Reduktionsfaktor von 6,3 % für eine nachhaltige Forstwirtschaft angesetzt werden. Mit diesem Reduktionsfaktor ergibt sich ein technisch-ökologisches Potenzial von 33,7 Mio. t_{atro} und ein noch ungenutztes technisch-ökologisches Potenzial von 9,4 Mio. t_{atro} .

Waldrestholz und sonstiges Schwachholz

Die Potenzialermittlung für Waldrestholz und sonstiges Schwachholz ist sehr komplex. Eine Grundlagenuntersuchung der BFH hat forstwirtschaftliche Daten unter zahlreichen Annahmen zu aktuellem Bestand, Baumzusammensetzung, Wachstum u. a. ausgehend von der Kreisebene hochgerechnet und ein Potenzial für Waldrestholz und sonstiges Schwachholz abgeleitet [BFH 2001]. Als untere Grenze wird davon ausgegangen, dass nur Schwachholz mit einem Mindestbrusthöhendurchmesser von 12 cm geschlagen wird. Als obere Grenze wird davon ausgegangen, dass bis zu einem unteren Brusthöhendurchmesser von 8 cm eingeschlagen wird. Die Erschließung der oberen Potenzialgrenze ist somit mit höheren Kosten verbunden, da die spezifischen Holzgewinnungskosten mit abnehmendem Holzdurchmesser ansteigen. Betrachtet wird neben dem Schwachholz aus der Durchforstung weiterhin das Waldrestholz, das bei der Stammholzgewinnung als „Abfall“ anfällt.

In dem Forschungsprojekt „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ [Öko-Institut 2004] wurde der Frage nachgegangen, welche Potenziale bei der Berücksichtigung einer nachhaltigen Waldwirtschaft zur Verfügung stehen. Es wurden, ausgehend von den Berechnungen der BFH [BFH 2001], verschiedene Szenarien entwickelt, die auf die von der BFH ermittelten Potenziale Abschlüsse für eine verstärkte nachhaltige Waldnutzung machen. Die Details sind in [Öko-Institut 2004] ausführlich dargestellt. An dieser Stelle sei nur eines dieser Nachhaltigkeitsszenarien, das Szenario „Biomasse“, kurz dargestellt.

Im Szenario „Biomasse“ wird für das Schwachholz davon ausgegangen, dass ein Mobilisierungsgrad von 100 % vorliegt, so dass die Potenziale unter Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien voll ausgeschöpft werden bis zu einem unteren Brusthöhendurchmesser von 8 cm. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass der Anteil der nachhaltigen Waldwirtschaft bis zum Jahr 2030 auf 80 % wächst. Die Kriterien für eine nachhaltige Forstwirtschaft wie naturnahe Waldgesellschaft, standortgemäße Baumarten, erhöhte Mischung, erhöhter Strukturreichtum, Schutzzonen, Verbleib von Totholz im Wald, Verbleib von Laub im Wald, schonende Holztechnik u. a. wurden nach den Zielsetzungen des nationalen Waldprogramms [BMELF 2000] und den Nachhaltigkeitskriterien des FSC [FSC 2001] und PEFC [PEFC 2000; 2003a] getroffen. Weiterhin geht das Szenario „Biomasse“ davon aus, dass das Stamm- und Industrieholzpotenzial auch zukünftig nicht voll ausgeschöpft wird. Damit fallen auch geringere Mengen des Nebenprodukts „Waldrestholz“ an.

Die Ergebnisse des Szenarios „Biomasse“ (für die Jahre 2010 und 2030) zeigt die nachfolgende Tabelle 4-5 im Vergleich zu den Grundlagenberechnungen der BFH [BFH 2001] (Prognosejahr 2005):

Tabelle 4-5: Verschiedene Potenzialabschätzungen für Waldrestholz und sonstiges Schwachholz nach [BFH 2001] und [Öko-Institut 2004]

Potenzialabschätzung nach	Jahr	Unterer Brusthöhendurchmesser	Anteil nachhaltiger Waldwirtschaft	Potenzial
		cm	%	Mio. t_{atro}
Szenario „Biomasse“	2010	8	60	12,41
	2030	8	80	12,47
Oberes Potenzial nach [BFH 2001]	2005	8	Status Quo in 2000 nach [PEFC 2003a] ca. 31 %	16,6
Unteres Potenzial nach [BFH 2001]		16		13,8

Der Vergleich der Szenarios „Biomasse“ mit dem oberen Potenzial nach [BFH 2001] zeigt, dass das Potenzial durch Berücksichtigung der Nachhaltigkeitskriterien und der Nicht-Ausschöpfung des Potenzials an Waldrestholz aufgrund der Nicht-Ausschöpfung des Potenzials an Stamm- und Industrieholz um rund ein Viertel reduziert wird. Dennoch übersteigt auch dieses Potenzial von rund 12,4 Mio. t_{atro} die derzeitige Nutzung, die nach grober Abschätzung gemäß Kapitel 4.2.1 bei rund 8,3 Mio. t_{atro} liegt,

deutlich. Die Restriktionen liegen damit weniger in Hemmnissen durch eine nachhaltige Waldwirtschaft als vielmehr in wirtschaftlichen Faktoren, die einer Ausschöpfung des vorhandenen Potenzials entgegenstehen.

Ordnet man die oben dargestellten Potenziale den Begrifflichkeiten „theoretisches Potenzial“ und „technisch-ökologisches Potenzial“ zu, so lässt sich folgende Einordnung treffen:

Das Szenario der BFH geht von einer vollständigen Ausschöpfung des Waldrestholzpotenzials aus, was jedoch nur dann möglich ist, wenn auch das Stamm- und Industrieholzpotenzial voll ausgeschöpft wird. Weiterhin sind im Szenario der BFH nur wenige Nachhaltigkeitskriterien berücksichtigt. Das Ergebnis von 16,6 Mio. t_{atro} kann damit als eine Angabe zum theoretischen Potenzial angesehen werden.

Im Szenario „Biomasse“ werden zusätzliche Einschränkungen gemacht: Zum einen werden Annahmen zur Ertragsminderungen durch eine nachhaltige Waldwirtschaft getroffen. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass das Stamm- und Industrieholzpotenzial und damit auch das Waldrestholzpotenzial nicht vollständig mobilisiert wird. Für die Ermittlung des technisch-ökologischen Potenzials werden in der nachfolgenden Tabelle 4-6 zwei Potenziale genannt: Ein technisch-ökologisches Potenzial wird mit den Ergebnissen des Szenarios „Biomasse“ angegeben. Hier sind sowohl Reduktionsfaktoren für die Nachhaltigkeit als auch für eine eingeschränkte Mobilisierung des Waldrestholzpotenzials durch eine eingeschränkte Mobilisierung des Stamm- und Industrieholzpotenzials enthalten. Darüber hinaus wird ein technisch-ökologisches Potenzial mit den Nachhaltigkeitskriterien des Szenarios „Biomasse“ errechnet. Hinsichtlich des Stamm- und Industrieholzpotenzials wird jedoch mit einer vollständigen Ausschöpfung gerechnet, die zu einer Erhöhung des nachhaltigen Waldrestholzpotenzials um rund 2,5 Mio. t_{atro} ⁸ führt.

Das nicht genutzte theoretische Potenzial beträgt dementsprechend 8,3 Mio. t_{atro} (16,6 Mio. t_{atro} abzüglich 8,3 Mio. t_{atro}). Die nicht genutzten technisch-ökologischen Potenziale

⁸ Das Szenario „Biomasse“ geht davon aus, dass das Stamm- und Industrieholzpotenzial zu 32,8% nicht ausgeschöpft wird. Wenn man jedoch von einer vollständigen und zugleich nachhaltigen Mobilisierung ausgeht, werden nur 6,3% des Stamm- und Industrieholzpotenzials aufgrund von Nachhaltigkeitskriterien nicht mobilisiert. Die Differenz in der Mobilisierung beträgt damit 26,5%, was bei einem theoretischen Potenzial von 9,6 Mio. t_{atro} Waldrestholz nach BFH [2001] 2,5 Mio. t_{atro} entspricht.

betragen je nach Ausschöpfung des Stamm- und Industrieholzpotenzials 4,1 bzw. 6,6 Mio. t_{atro} (12,4 Mio. t_{atro} abzüglich 8,3 Mio. t_{atro} bzw. 14,9 Mio., t abzüglich 8,3 Mio. t_{atro}).

Rinde

Nach Marutzky [2004] fallen bei der Waldentrindung basierend auf Erhebungen von Mantau et al. [2004] nur rund 0,04 Mio. t_{atro}/a an. Davon verbleiben 94 % im Wald und nur 6 % werden überwiegend extern genutzt. Eine Mobilisierung der knapp 0,04 Mio. t_{atro}/a , die im Wald verbleiben, ist aus ökologischer Sicht nicht zu favorisieren, da die im Wald verbleibende Rinde zur Humusbildung beiträgt und die Nährstoffe im Waldkreislauf verbleiben. Das technisch-ökologische Potenzial für eine weitergehende Rindenutzung wird damit gleich null gesetzt.

Zusammenstellung der Potenziale in der Forstwirtschaft

Tabelle 4-6: Zusammenstellung der ermittelten Potenziale in der Forstwirtschaft in 2002

Stoffstrom	Theoretisches noch nicht genutztes Potenzial Mio. t_{atro}	Technisch- ökologisches noch nicht genutztes Potenzial Mio. t_{atro}
Stamm- und Industrieholz	11,7	9,4
Waldrestholz und sonstiges Schwachholz (BHD > 8cm) bei vollständiger Mobilisierung des Stamm- und Industrieholzpotenzials	8,3	6,6
Waldrestholz und sonstiges Schwachholz (BHD > 8cm) bei nicht vollständiger Mobilisierung des Stamm- und Industrieholzpotenzials	5,8	4,1
Rindenverbleib im Wald	0,04	0

4.2.3 Aktuelle Stoffströme in der Holzindustrie

Holzrohstoffe in der Holzindustrie

Der größte Abnehmer von Holz ist die Holzindustrie, die rund 19,1 Mio. t_{atro} Stamm- und Industrieholz in 2002 verarbeitet hat [Mantau, Bilitewski 2005]. Die Holzindustrie lässt sich wiederum in die Holzwerkstoffindustrie (Herstellung von Spanplatten, Faserplatten u. a.), die Sägeindustrie, die Furnier- und Sperrholzherstellung und die nachfolgenden Holz verarbeitenden Betriebe unterteilen.

Die nachfolgende Tabelle 4-7 gibt einen Überblick über die Massenströme, die in die Holzwerkstoffindustrie, die Sägeindustrie und die Furnier- und Sperrholzherstellung gehen.

Tabelle 4-7: Stamm- und Industrieholzverbrauch in der Holzindustrie in 2002
[Mantau, Bilitewski 2005]

Sektor	Verbrauch in 2002 [Mio. t_{atro}]
Sägeindustrie	15,3
Holzwerkstoffindustrie	0,4
Furnier- und Sperrholzherstellung	3,3
Summe	19,0

Neben dem Stamm- und Industrieholz sind die Sekundärrohstoffe Sägenebenprodukte, Industrierestholz und Altholz weitere wichtige Rohstoffe für die Holzwerkstoffindustrie. In den anderen Holz verarbeitenden Betrieben kommen keine nennenswerten Mengen an Sekundärrohstoffen zum Einsatz. Die Mengen zeigt die nachfolgende Tabelle 4-8.

Tabelle 4-8: Eingesetzte Sekundärrohstoffe in der Holzwerkstoffindustrie in 2002
[Mantau, Bilitewski 2005]

Sekundärrohstoffe in der Holzwerkstoffindustrie	Verbrauch in 2002 [Mio. t_{atro}]
Sägenebenprodukte Inlandsbezug	3,7
Sonstiges Industrierestholz Inlandsbezug	0,1
Altholz Inlandsbezug	0,9
Importe	0,1
Summe	4,8

Der Großteil dieser aufgeführten Sekundärrohstoffe findet in der Spanplattenindustrie Verwendung. Weitere 1,0 Mio. t_{atro} Sägenebenprodukte werden in der Faserplatten-Industrie (MDF-Platten) verarbeitet [Mantau, Bilitewski 2005].

Reststoffe in der Holzindustrie

Als Reststoffe fallen in der Holz verarbeitenden Industrie Sägenebenprodukte, Rinde und sonstiges Industrierestholz⁹ an. Das sonstige Industrierestholz wird im Kap. 4.25 (Altholz- und Industrierestholz) näher betrachtet. Der Anfall und die Verwendung von Sägenebenprodukten und Rinde werden im Folgenden dargestellt.

a) Sägenebenprodukte

Die Sägeindustrie erzeugt Schnittholz für die Bauindustrie, die Möbelherstellung und die Herstellung von Paletten und anderen Holzprodukten. Als Sägenebenprodukte fallen Späne, Sägemehl, Hackschnitzel und Kappstücke an. Nach Mantau et al. [2002] kann von einer nahezu vollständigen Verwertung der Sägenebenprodukte ausgegangen werden. Hauptabnehmer sind hierbei die Holzwerkstoffindustrie, die Holzschliff- und Zellstoffindustrie sowie Anlagen zur energetischen Verwertung. Die Stoffströme sind graphisch in den ausführlichen Fließschemen im Anhang (Seiten A-2 – A-5) dargestellt und dokumentiert. Die nachfolgende Tabelle 4-9 gibt einen Überblick über Aufkommen und Verbleib.

⁹ Holzabfälle aus der Herstellung von Halb- und Fertigwaren

Tabelle 4-9: Aufkommen und Verbleib von Sägenebenprodukten nach Mantau et al. [2002] und eigenen Abschätzungen¹⁰

	Anfall [Mio. t _{atro}]	Verwendung [Mio. t _{atro}]
Sägenebenprodukte ohne Rinde ¹¹	5,8	
Sekundärrohstoff in der Holzwerkstoffindustrie ¹²		3,7
Sekundärrohstoff in der Papierindustrie ¹³		1,3
Nettoexport ¹⁴		0,1
Energetische Verwertung der Sägenebenprodukte		0,7

Die Herleitung der Zahlen für den Anfall der Sägenebenprodukte und deren Verwendung in der Holzwerkstoff-, Holzschliff- und Zellstoffindustrie sowie im Export ist in den Fußnoten dargestellt. Für die verbleibende Menge kann davon ausgegangen werden, dass sie vollständig einer Verwertung zugeführt wird, da es einen ausgereiften Markt für Sägenebenprodukte gibt. In 2001 wurden bereits 39 % der Sägenebenprodukte über den Handel vertrieben [Mantau et al. 2002]. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass die Verwertung außerhalb der Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie überwiegend eine energetische Verwertung ist, da die Sägenebenprodukte in einer Vielzahl von Feuerungen Verwendung finden.

b) Rinde

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über den Rindenanfall in der Holzindustrie und zeigt, dass die weitaus größte Menge in den Sägewerken anfällt.

¹⁰ Verwendete Umrechnungsfaktoren: 0,64 t_{lutro}/fm [Mantau, Bilitewski 2005]; 0,8 t_{atro}/t_{lutro}

¹¹ Angabe in Mantau et al. [2002] für 2001: 11,3 Mio. fm Sägenebenprodukte (ohne Rinde); Steigerung der Schnittholzproduktion von 2001 nach 2002 um 14 % nach BMVEL [2004]. Annahme: gleiche Steigerungsrate bei den Sägenebenprodukten.

¹² Nach Mantau, Bilitewski [2005] 4,663 Mio. t_{lutro} in 2002; davon 4,605 Mio. t_{lutro} aus dem Inland.

¹³ Angabe in Mantau et al. [2002] für 2001: 1,2 Mio. t_{atro}. Annahme, dass das Industriestholz aus Sägewerken und Handel, das in der Papierindustrie eingesetzt wird, vollständig aus Sägenebenprodukten besteht. Steigerung von 2001 auf 2002 nach vdp [2003] + 3 %.

¹⁴ Abgeschätzt nach Daten für das Jahr 2000 von Mantau et al. [2002]

Tabelle 4-10: Aufkommen an Rinde in der Holzindustrie nach [Marutzky 2004]

Rindenanfall in der Holzindustrie	Aufkommen in 2002 [1.000 t_{atro}]
Sägeindustrie	419
Holzwerkstoffindustrie	56
Furnier/Sperrholzherstellung	7
Summe	482

Zum Verbleib der Rinde liegen nur wenige Daten mit hohen Datenunsicherheiten vor. Nach Gabsdil [2003] werden von den in der Sägeindustrie anfallenden Rinden rund 70 % extern verwertet. Der Rest wird nahezu vollständig zur energetischen Verwertung in eigenen Anlagen genutzt. Die Befragung von Rindenverarbeitern hat ergeben, dass folgende Rindenprodukte erzeugt werden [Gabsdil 2003]: 75 % Rindenmulch, 9 % Rindenhumus, 11 % Rinden kultursubstrat und 5 % sonstiges.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen zusammenfassenden Überblick über das Aufkommen der Sägenebenprodukte und der Rinde in der Holzindustrie einschließlich der abgeschätzten C-, N- und P-Ströme. Die Dokumentation der angenommenen C-, N- und P-Gehalte befindet sich im Anhang auf S. A-6.

Tabelle 4-11: Anfall von Sägenebenprodukten und Rinde in der Holzindustrie in 2002

	Trocken- masse 1.000 t_{atro}	C-Strom 1.000 t	N-Strom t	P-Strom t
Sägenebenprodukte (ohne Rinde)	5.761	2.823	9.217	1.152
Rinde	482	232	2.370	145

4.2.4 Potenziale in der Holzindustrie

Wie das Kapitel 4.2.3 gezeigt hat, werden die Reststoffe Sägenebenprodukte und Rinde bereits vollständig verwertet. Gleiches gilt für die Industriereichthölzer, die vertieft in Kapitel 4.2.5 betrachtet werden. Damit bestehen in diesem Bereich keine - für die weiteren Untersuchungen relevanten - ungenutzten Potenziale.

4.2.5 Aktuelle Stoffströme: Altholz und Industrierestholz

Die Abbildung 4-2 gibt einen Überblick über die Herkunft des Altholzes in 2002 untergliedert in die Endverbraucher-Bereiche Bau, Möbel, Verpackung und Sonstiges sowie die Reststoffe aus der Produktion. Nach Mantau, Bilitewski [2005] stammt der größte Anteil mit 2,7 Mio. t_{atro} aus dem Baubereich, gefolgt von dem Bereich Möbel (1,7 Mio. t_{atro}). Aus dem Verpackungsbereich stammen 2,1 Mio. t_{atro} , aus sonstigen Holzprodukten 0,6 Mio. t_{atro} . Hinzu kommen 1,2 Mio. t_{atro} sonstige Reststoffe einschließlich Industrierestholz aus Industrie und Handwerk. Die Sägenebenprodukte sind in diesen Zahlen nicht enthalten, sondern werden in Kapitel 4.2.3 behandelt, da sie keinen Abfall darstellen, sondern als Produkt vermarktet werden.

Insgesamt wurden in 2002 knapp 10 Mio. t_{atro} (einschließlich Import von 0,7 t_{atro}) Holzabfälle entsorgt, für die die nachfolgende Tabelle 4-12 eine Übersicht über die Entsorgungswege gibt. Auch in diesem Teilsektor wurde ebenso wie in den anderen Teilsektoren das Bezugsjahr 2002 gewählt, da für den Teilsektor Forstwirtschaft nur Daten bis 2002 verfügbar waren und es ein wesentliches Ziel war, die gesamten Stoffströme von der Primärerzeugung bis hin zur Entsorgung im Zusammenhang darzustellen.

Tabelle 4-12: Entsorgung von Alt- und Industrieholz in 2002 [Mantau et al. 2004]

Entsorgung von Altholz und Industrierestholz in 2002	1.000 t_{atro}
Thermische Verwertung	3.184
Thermische Beseitigung	1.737
Deponierung	2.056
Stoffliche Verwertung	1.438
Export	574
Mechanisch biologische Behandlung	168
Sonstige Behandlung	525
Summe	9.680

Hinsichtlich der Entsorgung hat es inzwischen große Verschiebungen hinsichtlich der Entsorgungswege gegeben. Da entsprechend den Übergangsfristen der TA Siedlungsabfall [TASi 1993] eine Deponierung von Altholz nicht mehr stattfindet und zudem bei der Verbrennung von Biomasse in Anlagen, in denen Altholz der Klassen I und II verbrannt wird, eine höhere Vergütung für den erzeugten Strom garantiert wird [EEG 2004], stellt inzwischen die Altholzverbrennung den Hauptverwertungspfad dar. Im

Monitoringbericht nach IE [2003b] (Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbaren-Energie-Gesetzes (EEG)) wurden die Kapazitäten der bestehenden und bis 2004 geplanten Altholzverbrennungsanlagen den in Deutschland verfügbaren Altholzmengen gegenübergestellt. Das Ergebnis war, dass die zukünftigen Kapazitäten den Altholzanfall um rund das Doppelte übersteigen. Damit kann davon ausgegangen werden, dass zukünftig nahezu alles Altholz thermisch verwertet wird, entweder auf direktem Wege in Altholzverbrennungsanlagen, die nach dem EEG betrieben werden, oder über den Umweg Restmüll bzw. Sperrmüll in Müllverbrennungsanlagen oder in Anlagen zur thermischen Verwertung der heizwertreichen Fraktion aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. Insgesamt wurden in 2004 nach Mantau Weimar [2006] rund 3,3 Mio. t_{utro} Altholz und 1,6 Mio. t_{utro} Industriestholz in Anlagen mit einer Feuerungsleistung > 1 MW verbrannt.

Die stoffliche Verwertung von insgesamt 1,4 Mio. t_{atro} fand in 2002 vor allem in der Spanplattenindustrie statt, die nach Mantau et al. [2004] in 2003 rund 1,3 Mio. t_{atro} verwertet hat.

4.2.6 Potenziale: Altholz und Industriestholz

Wie im vorhergehenden Unterkapitel dargestellt, wird zukünftig nahezu das gesamte Altholz und Industriestholz einer energetischen Nutzung zugeführt werden, sofern es nicht einer stofflichen Verwertung zugeführt wird. Damit gibt es keine für die Untersuchung relevanten ungenutzten theoretischen und technischen Potenziale.

4.2.7 Aktuelle Stoffströme in der Papier- und Zellstoffindustrie

Papierherzeugung

Die biogenen Hauptrohstoffe der Papierindustrie sind Holzstoff, Zellstoff und Altpapierstoff. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über diese Mengen in 2002. Graphisch sind sie in Abbildung 4-2 dargestellt. Sämtliche Mengenangaben werden in diesem Kapitel, soweit nicht anders vermerkt, in t_{atro} gemacht, um mit einer einheitlichen Einheit für alle Stoffströme im Bericht zu arbeiten. Die Hauptquelle für die Papierdaten mit dem Bezugsjahr 2002 ist der Leistungsbericht des Verbands deutscher Papierfabriken [vdp 2003]. Es wurden bewusst die Daten für 2002 gewählt, da für die anderen Teilsektoren

nur Daten bis 2002 zur Verfügung stehen und es das Ziel der Untersuchung ist, den Holzstoffstrom einschließlich der Papierindustrie in der Gesamtheit darzustellen. Die meisten Angaben in vdp [2003] waren in der Einheit t_{utro} . Die Umrechnung in t_{atro} erfolgte mit dem Faktor 0,9 [vdp 2003].

Tabelle 4-13: Holzstoff, Zellstoff und Altpapierstoff in der deutschen Papierindustrie in 2002 [vdp 2003]

Einsatz von Holz-, Zell- und Altpapierstoff:	1.000 t_{atro}
Holz- und Zellstoff: Inlandsproduktion	1.932
Davon: Export	471
Davon: Inlandsverwendung	1.461
Holz- und Zellstoff aus Importen	3.613
Altpapierstoffeinsatz	8.884
Summe Einsatz von Holz-, Zell- und Altpapierstoff in deutscher Papierindustrie	13.958

Die Tabelle 4-13 zeigt, dass deutlich mehr Holz- und Zellstoff aus dem Ausland als aus dem Inland in der deutschen Papierindustrie eingesetzt wird. Dementsprechend wurden in Abbildung 4-2 auf Seite 34 auch die Holzmengen abgeschätzt (grobe Abschätzung: 14 Mio. t_{atro} , Herleitung siehe Anhang S. A-10), die für die entsprechende Holz- und Zellstoffproduktion im Ausland eingeschlagen wurden. Bemerkenswert ist weiterhin die sehr große Altpapierstoffmenge von rund 9 Mio. t_{atro} , die in der deutschen Papierindustrie verarbeitet wird.

Biogene Rohstoffe für die deutsche Holz- und Zellstoffherstellung sind Industrieholz aus der Forstwirtschaft (Größenordnung 2,4 Mio. t_{atro}) und Sägenebenprodukte (Größenordnung 1,3 Mio. t_{atro})¹⁵ (siehe Anhang Seite A-8 und A-9 bzw. [Mantau 2002] und [vdp 2003]).

Mengenangaben zu den Papierprodukten und zur Papierverwendung finden sich im Überblick in Abbildung 4-2 auf Seite 34 und im Detail in den Fließschemen im Anhang (Seiten A-2 – A-5)

¹⁵ Verwendete Umrechnungsfaktoren für Holz: $0,64 t_{\text{utro}} / \text{fm}$; $0,8 t_{\text{atro}} / t_{\text{utro}}$

Reststoffe

Die Altpapiererfassung betrug in 2002 in Deutschland 13,8 Mio. t_{utro} ¹⁶ [vdp 2003]. Der Altpapiereinsatz für die Herstellung von Altpapierstoff belief sich in 2002 [vdp 2003] auf 12,0 Mio. t_{utro} [vdp 2003], wobei im Jahre 2002 1,8 Mio. t_{utro} [vdp 2003] aus dem Import von Altpapier stammten. Etwa 3,4 Mio. t_{utro} [vdp 2003] gesammeltes Altpapier gingen in den Export.

Als biogene Reststoffe fallen innerhalb der Papierindustrie Papierschlämme, Schwarzlauge und Rinde an. Die Schwarzlauge wird innerhalb der Produktionsanlagen verwertet [IE 2003b], so dass sie hier nicht weiter betrachtet wird. Im Folgenden werden die Papierschlämme und die Rinde weiter untersucht.

Nach IE [2003b] fallen in Deutschland in 2001 rund 580.000 t_{atro} Papierschlämme an, die folgendermaßen genutzt werden: energetisch (innerbetrieblich) 232.000 t_{atro} , stofflich und energetisch (außerbetrieblich) 232.000 t_{atro} , Kompostierung 75.400 t_{atro} , Landwirtschaft 23.200 t_{atro} und sonstiges 17.400 t_{atro} .

Der Rindenanfall in der Papierindustrie wird auf 125.000 t_{atro} geschätzt¹⁷. Die Rinden werden vollständig verwertet (interne energetische Verwertung 47 % und Verkauf 53 %) [Marutzky 2004].

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Reststoffströme in der Papierindustrie bzw. beim Endverbraucher einschließlich der C-, N- und P-Ströme:

Tabelle 4-14: Reststoffströme in der Papierindustrie und erfasstes Altpapier¹⁸ in 2002

Reststoffe in der Papierindustrie bzw. erfasstes Altpapier	Trocken- masse 1.000 t_{atro}	C-Strom 1.000 t	N-Strom t	P-Strom t
Altpapiererfassung beim Endverbraucher	12.393	6.816	60.726	3.718
Papierschlämme ¹⁹	580	319	2.842	174
Rinde	125	56	625	38

¹⁶ Entspricht 12,4 Mio. t_{atro}

¹⁷ nach Marutzky [2004] auf Grundlage von Mantau [2004]: 1.390.000 Srm; Umrechnungsfaktoren: 0,3 m^3 /Srm; 0,3 t_{atro} / m^3

¹⁸ Dokumentation zu den C-, N- und P-Gehalten siehe Anhang S. A-7

¹⁹ Daten für 2001

4.2.8 Potenziale in der Papier- und Zellstoffindustrie

Der Verband Deutscher Papierfabriken beziffert das theoretische Altpapier-Potenzial beim Endverbraucher auf 13,7 Mio. t_{utro} (12,33 Mio. t_{atro}) [vdp 2003] für 2002. Davon sind 2,5 Mio. t_{utro} (2,25 Mio. t_{atro}) [vdp 2003] nicht erfasst worden, da sie in die Abfallentsorgung gelangten (0,5 Mio. t_{utro} Deponie, 1,8 Mio. t_{utro} Verbrennung, 0,2 Mio. t_{utro} Kompostierung), wo sie zum Teil einer energetischen oder stofflichen Verwertung zugeführt werden. Zur Mobilisierung dieser 2,5 Mio. t_{utro} wären nach Einschätzung der Autoren erhebliche Anstrengungen nötig. Ein Teil dieses Altpapiers ist durch den Gebrauch verunreinigt, mehr Verbraucher müssten sich an der Altpapiersammlung beteiligen und ein Teil der Verbraucher müsste zudem die Bereitschaft entwickeln, auch Kleinmengen zu sammeln. Weiterhin ist nach Einschätzung der Autoren zu bedenken, dass mit der Mobilisierung dieser Menge überwiegend minderwertige Altpapierqualitäten zusätzlich erfasst würden. Auf politischer Ebene ist eine Steigerung der Erfassungsquote derzeit kein Thema. Konsens ist vielmehr im Rahmen der Freiwilligen Selbstverpflichtung der Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere (AGRAPA), die Verwertungsquote für graphische Papierprodukte im Inland im Zielkorridor von $80 \pm 3 \%$ zu halten [Vdz 2005]. Dieses Ziel ist in den vergangenen Jahren erreicht worden [Vdz 2005]. Aus den vorgenannten Gründen wird das technische Potenzial zur Mobilisierung weiterer Altpapiermengen beim Endverbraucher unter den genannten Bedingungen zum Bilanzierungsrahmen dieser Studie²⁰ gleich null gesetzt.

Da die Papierschlämme und die Rinden vollständig verwertet werden (siehe Kap. 4.2.7), sind hier keine Potenziale für eine weitere Verwertung gegeben.

²⁰ Änderungen des Verbraucherverhaltens sind außerhalb des Bilanzierungsrahmens (vgl. Kap. 3.1)

Tabelle 4-15: Potenziale bei der Verwertung von Altpapier und Reststoffen aus der Papierindustrie in 2002

Reststoff	Theoretisches noch nicht genutztes Potenzial 1.000 t _{atro}	Technisches noch nicht genutztes Potenzial 1000 t _{atro}
Altpapiererfassung beim Endverbraucher ²¹	2.250	*
Papierschlämme	*	*
Rinde	*	*

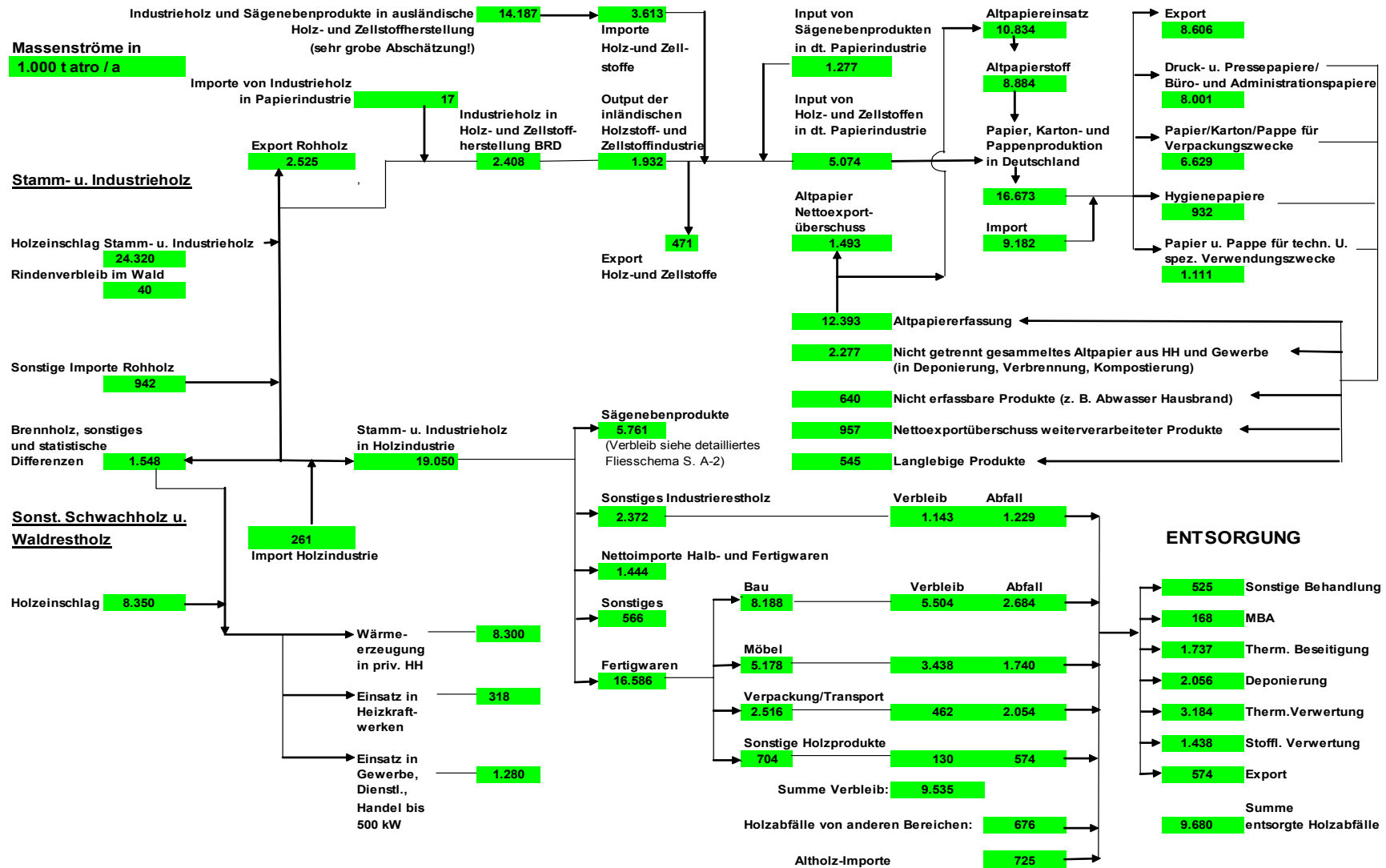
* im Rahmen dieser Studie wurden keine relevanten noch nicht genutzten Potenziale identifiziert

4.2.9 Zusammenfassung und Überblick über die einzelnen Teilsektoren

Stoffströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft in 2002 im Überblick

Die wichtigsten biogenen Stoffströme im Bereich von Forst-, Holz- und Papierwirtschaft in 2002 zeigt die nachfolgende Abbildung 4-2. Zusätzlich zur allgemeinen Darstellung in den vorangegangenen Kapiteln sind alle in der Abbildung enthaltenen Stoffströme im Anhang (Seiten A-7 – A-11) dokumentiert. Weiterhin befindet sich im Anhang auf den Seiten A2 – A5 eine noch detailliertere Aufschlüsselung in weiteren Fließschemen für die Trockenmasse und die C-, N- und P-Ströme.

²¹ Das Potenzial bezieht sich auf eine Steigerung der Erfassung des Altpapiers, das beim Endverbraucher anfällt. Das erfasste Altpapier wird bereits vollständig verwertet.



Holzeinschlag und Holznutzung in 2002

Einen Überblick über den Holzeinschlag und die Holznutzung gibt die nachfolgende Tabelle.

Tabelle 4-16: Einschlag und Nutzung von Holz nach Mantau, Bilitewski [2005], Mantau et al. [2004], IE [2004] und eigenen Annahmen

Stoffstrom	Mio. t _{atro}
Holzbereitstellung:	
Holzeinschlag Stamm- und Industrieholz	24,3
Holzeinschlag Waldrestholz und sonstiges Schwachholz	8,3
Import	1,2
Summe Holzbereitstellung	33,8
Holznutzung:	
Holzindustrie ¹	19,1
Papierindustrie	2,4
Energetische Nutzung von Waldholz ²	9,9
Export	2,5
Summe Holznutzung	33,8

Die Tabelle zeigt, dass die mengenmäßig bedeutsamsten Ströme der Holzeinschlag von Stamm- und Industrieholz und die Nutzung in der Holzindustrie sind.

¹ Sägeindustrie 15,3 Mio. t_{atro}, Holzwerkstoffindustrie 0,4 Mio. t_{atro}, Furnier- und Sperrholzherstellung 3,3 Mio. t_{atro}

² Waldholz bezeichnet Holz, das direkt aus der Forstwirtschaft stammt, also Waldrestholz, sonstiges Schwachholz und sonstige Brennholzsortimente, die statistisch als Stamm- und Industrieholz erfasst wurden.

Potenziale in der Forstwirtschaft

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die ermittelten Gesamtpotenziale in der Forstwirtschaft sowie über die nicht genutzten Potenziale (Differenz aus Gesamtpotenzial und der derzeitigen Nutzung) unter der Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien.

Tabelle 4-17: Zusammenstellung der ermittelten Potenziale in der Forstwirtschaft in 2002

	Theoretisches Potenzial		Technisch-ökologisches Potenzial	
	Gesamt Mio. t _{atro}	noch nicht genutzt Mio. t _{atro}	Gesamt Mio. t _{atro}	noch nicht genutzt Mio. t _{atro}
Stamm- und Industrieholz	36,0	11,7	33,7	9,4
Waldrestholz und sonstiges Schwachholz (BHD > 8cm) bei vollständiger Mobilisierung des Stamm- und Industrieholzpotenzials	16,6	8,3	14,9	6,6
Waldrestholz und sonstiges Schwachholz (BHD > 8cm) bei nicht vollständiger Mobilisierung des Stamm- und Industrieholzpotenzials	14,1	5,8	12,4	4,1
Rindenfall bei Waldentrindung	0,040	0,038	0,02	0

Für Stamm- und Industrieholz wird das technisch-ökologische noch nicht genutzte Potenzial auf 9,4 Mio. t_{atro} beziffert. Diese Menge könnte unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien zusätzlich zur derzeitigen Nutzung dem Wald entnommen werden (detailliertere Beschreibung der Randbedingungen siehe Kap.4.2.2).

Im Bereich von Waldrestholz und Schwachholz hängt das nutzbare Potenzial u.a. davon ab, ob das Stamm- und Industrieholzpotenzial voll genutzt wird und damit auch das Nebenprodukt „Waldrestholz“ voll genutzt werden kann. Bei einer vollständigen

Ausschöpfung des nachhaltigen Stamm- und Industrieholzpotenzials liegt das noch nicht genutzte Potenzial für Waldrestholz und sonstiges Schwachholz bei rund 6,6 Mio. t_{atro} . Wird das Stamm- und Industrieholzpotenzial nicht voll ausgeschöpft, sinkt das noch nicht genutzte Potenzial für Waldrestholz und sonstiges Schwachholz auf rund 4,1 Mio. t_{atro} (detaillierte Beschreibung der Randbedingungen siehe Kap. 4.2.2).

Reststoffe in der Holz- und Papierindustrie – Aufkommen und Potenziale

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die anfallenden biogenen Reststoffe und die noch nicht genutzten Potenziale in der Holz- und Papierindustrie einschließlich des Aufkommens von Altholz und der Erfassung von Altpapier.

Tabelle 4-18: Reststoffe in der Holz- und Papierindustrie, Altholzanfall und Altpapierfassung - Aufkommen in 2002 und ungenutzte Potenziale

Reststoff	Aufkommen in 2002 Mio. t_{atro}	Theoretisches noch nicht genutztes Potenzial Mio. t_{atro}	Technisches noch nicht genutztes Potenzial Mio. t_{atro}
Sägenebenprodukte	5,8	*	*
Rindenanfall in Holz- und Papierin- dustrie	0,6	*	*
Altholz ³	9,7	*	*
Beim Endverbrau- cher erfasstes Altpapier	12,4	2,25	*
Papierschlämme	0,58	*	*
Summe	29,1	2,25	*

* im Rahmen dieser Studie wurden keine relevanten noch nicht genutzten Potenziale identifiziert

Die Tabelle zeigt, dass die größten Reststoffströme das Altpapier, Altholz und die Sägenebenprodukte sind. Relevante noch nicht genutzte Potenziale wurden bei den

³ Einschließlich Industrierestholz, ohne Sägenebenprodukte

anderen Reststoffströmen keine identifiziert, weil sie entweder schon genutzt werden oder eine weitergehende Nutzung aus technischen Gründen nicht realistisch ist. Ein theoretisches noch ungenutztes Potenzial wurde lediglich beim Altpapier identifiziert. Dort ist eine Steigerung der Altpapiererfassung beim Endverbraucher theoretisch möglich, praktisch jedoch schwer umzusetzen (vgl. Kap.4.2.8).

Phosphorströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft

Die Untersuchung der Phosphorströme (siehe Fließschema im Anhang S. A-5) hat gezeigt, dass sich im Stoffstrom Holz im Verhältnis zu den Stoffströmen Tiermehl, kommunaler Klärschlamm und Gülle (vgl. Tabelle 8-1, S. 175 und Tabelle 8-2, S. 177) nur kleine Mengen befinden (6.500 t im gesamten eingeschlagenen Holz in 2002), so dass hier kein relevanter Optimierungsspielraum besteht.

4.3 Identifizierung relevanter Stoffströme aus der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft

Die Betrachtung der aktuellen Stoffströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft hat gezeigt, dass die anfallenden Reststoffe in den holzverarbeitenden Sektoren sowie die anfallenden Holzabfälle nahezu vollständig stofflich oder energetisch verwertet werden. Ein wesentlicher Grund für die hohen Verwertungsquoten sind die vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten von Holzprodukten und Papier. Neben der stofflichen Nutzung (Sekundärrohstoff in der Holzwerkstoffindustrie, Altpapierrecycling, Rindenmulch u.a.) ist die Verbrennung sowohl in einfachen Kleinanlagen als auch in Großanlagen verbreitete Praxis und rentabel. Hinsichtlich der Nutzung der Reststoffe aus den holzverarbeitenden Sektoren und der Nutzung der Holzabfälle ist darum kaum relevanter Optimierungsspielraum zu sehen.

Hingegen befinden sich in der Forstwirtschaft noch hohe ungenutzte Potenziale sowohl bei der Nutzung von Stamm- und Industrieholz als auch in der Nutzung von sonstigem Schwachholz und Waldrestholz (vgl. Kap. 4.2.2: ungenutzte Potenziale unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien: rund 9 Mio. t_{atro} für Stamm- und Industrieholz und 4 Mio. – 7 Mio. t_{atro} für Waldrestholz und sonstiges Schwachholz).

Für eine Optimierung der Stoffströme im Bereich der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft ist damit von größter Relevanz, wie diese ungenutzten Potenziale erschlossen werden können, d. h. wie der Holzeinschlag und eine damit verbundene Holznutzung erhöht werden können, um nicht erneuerbare Ressourcen zu substituieren.

4.4 Ableitung von Szenarien für die Forst-, Holz- und Papierwirtschaft

Ausgehend von Kap. 4.3 stand bei der Entwicklung von Szenarien die Frage im Vordergrund, wie die ungenutzten Potenziale in der Forstwirtschaft genutzt werden können, um andere nicht erneuerbare Rohstoffe zu ersetzen. Da die reine energetische Nutzung nicht im Vordergrund der Optimierungsbetrachtungen im Rahmen dieser Studie stehen, wurde nach Möglichkeiten der verstärkten stofflichen Nutzung bzw. einer Verlagerung von Stoffströmen gesucht, die im Ergebnis zu einer erhöhten Holznutzung und einer verminderten Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen führt. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden vor diesem Hintergrund zwei Szenarien entwickelt:

Szenario 1 betrachtet einen verstärkten Einsatz von Zellulosedämmstoffen. Das für die Herstellung der Zellulosedämmstoffe verwendete Altpapier soll im Rahmen dieses Szenarios durch Waldholz in der Papierindustrie ersetzt werden. Zugleich werden konventionelle Dämmstoffe (Mineralwolle und Polystyrol) substituiert.

Szenario 2 beschäftigt sich mit der Nutzung von Sägespänen. Diese werden derzeit noch zu einem großen Anteil (ca. 77 %) in der Holzwerkstoffindustrie verwertet. Die Holzwerkstoffindustrie verwendet zugleich große Mengen von Holz aus der Forstwirtschaft (Waldholz) und könnte die Sägespäne ohne große technologische Umstellungen und Qualitätseinbußen durch Waldholz substituieren. Für die Sägespäne wiederum steht mit den Pellet-Kleinfeuerungen ein möglicher Abnehmer zur Verfügung, der über keine anderen Substitutionsmöglichkeiten verfügt. Nur mit Pelletheizungen kann die Nachfrage nach automatisierten Feststofffeuerungen auf Basis erneuerbarer Rohstoffe in Ein- bis Zweifamilienhäusern gedeckt werden. Der Einsatz von Waldholz könnte also mit einer Verlagerung der Stoffströme folgendermaßen gesteigert werden: Ein Großteil der Sägespäne aus der Sägeindustrie wird nicht mehr in der Holzwerkstoffindustrie verwertet, sondern zur energetischen Nutzung in Form von Pellets genutzt. Hierbei werden in Ein- bis Zweifamilienhäusern Gas- oder Ölheizungen ersetzt. Zugleich

steigert die Holzwerkstoffindustrie ihren Waldholzeinsatz, um ihren Rohstoffbedarf zu decken. Diese Verlagerung der Stoffströme ist Bestandteil von Szenario 2.

4.4.1 Szenario: Verstärkter Einsatz von Zellulosedämmstoffen in der Gebäudedämmung und Substitution des Altpapierstroms durch eine verstärkte Nutzung von Waldholz

In diesem Szenario wird untersucht, in welchem Umfang die Nutzung von Holz aus der Forstwirtschaft (Waldholz) gesteigert werden kann, indem konventionelle Dämmstoffe im Dachbereich wie Mineralwolle und Polystyrol durch Einblaszellulose aus Altpapier substituiert werden, und wie diese Modifizierung der Stoffströme aus Sicht des Klima- und Ressourcenschutzes (fossile Ressourcen) zu bewerten ist. Die entsprechende Altpapiermenge, die zurzeit fast vollständig dem stofflichen Recycling zugeführt wird, soll dann bspw. durch zusätzliches Waldholz ersetzt werden, das zu Holzstoff weiterverarbeitet wird.

4.4.1.1 Sachstand/Grundlagen

Zellulosedämmung – Herstellung und Anwendung

Zellulosedämmstoffe werden aus zerfasertem Altpapier hergestellt. Aus Gründen des Brandschutzes und zur Vermeidung von Schädlings- oder Schimmelbefall werden als gesundheitlich unbedenklich einzustufende Zusatzmittel (Borax, Borsäure, alternativ Aluminiumhydroxid, Ammoniumphosphat und Fungotannin) zugesetzt. Das Rohmaterial besteht in der Regel aus sortierten Druckerzeugnissen [FNR 2006]. In Deutschland gibt es derzeit fünf Anbieter von bauaufsichtlich zugelassenen Zellulosedämmsystemen mit Zelluloseflocken, einer davon bietet auch Dämmplatten aus Zellulose an [FNR 2006].

Bei der Anwendung und Verarbeitung sind vier Verfahren zu unterscheiden [FNR 2006]:

1. Einblaszellulose

Einblaszellulose wird in eine Dämmschalung eingeblasen. Durch die hohe Staubeentwicklung sind entsprechende Vorkehrungen zu treffen, so dass das Verfahren nur von zertifizierten Fachbetrieben ausgeführt wird. Im Bereich der Dachdämmung hat sich das Verfahren bereits stark etabliert. In Abhängigkeit von den konkreten Rahmenbedingungen der Bauvorhaben ist Einblaszellulose bei der Dachdämmung im Vergleich zu anderen konventionellen Dämmsystemen in wirtschaftlicher Hinsicht konkurrenzfähig. Da die Dachdämmung rund 20 – 30 % aller Dämmstoffanwendungen ausmacht, liegt im Dachbereich auch ein großes Einsatzpotenzial. Das Einblasverfahren wird jedoch auch für Wände, Böden und Decken eingesetzt und eignet sich insbesondere für Neubauten in Holzständerbauweise.

2. Dämmschüttung

Hier wird die Zellulose offen aufgeschüttet, z.B. auf den Boden zwischen Lagerhölzer, die nachfolgend beplankt werden.

3. Sprühverfahren

Die Zellulose wird unter der Zugabe von Wasser und gegebenenfalls Bindemitteln auf die Wand aufgesprüht. Nach dem Trocknen entsteht eine steife Dämmschicht. Für die Anwendung auf Außenwänden, die im Anschluss verputzt werden, besteht nach Mandl et al. [2001] noch Forschungsbedarf.

4. Dämmmatten

Zellulosedämmstoff wird auch in Form von Dämmmatten angeboten, die wie konventionelle Dämmmatten eingesetzt werden können (z.B. zwischen den Sparren, in Holzständersystemen, in Holzdecken).

Aktueller Verbrauch von Dämmstoffen in Deutschland

Der derzeitige Verbrauch von Dämmstoffen zur Gebäudedämmung nahm entgegen der allgemeinen Erwartungen von 1999 bis 2004 von rund 35 Mio. m³ auf ca. 26 Mio. m³ ab [GDI 2005]. Die Dämmstoffe wurden hierbei zu etwa gleichen Teilen für die Nachdämmung von Altbauten und für Neubauten verwendet [Isover 2005]. Mittelfristig wird

wieder eine Steigerung des Dämmstoffabsatzes erwartet [URSA 2005], u. a. durch die Einführung des Energieausweises für Gebäude bzw. der Umsetzung der europäischen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [EU 2002]⁴.

Der Anteil an Naturdämmstoffen lag in 2005 bei 5 – 6 % [FNR 2006] [BMVEL 2005b]. Etwa ein Drittel der Naturdämmstoffe sind hierbei Zelluloseprodukte [FNR 2006]. Im Jahr 2000 lag der Einsatz von Zellulosedämmstoffen bei rund 450.000 m³ [Stelter 2003]. Für 2005 wird angenommen, dass diese Produkte an Marktanteilen gewonnen haben und der Einsatz trotz des allgemeinen Rückgangs des Dämmstoffverbrauchs auf rund 500.000 m³ gestiegen ist.

4.4.1.2 Szenarioaufbau und Systemgrenzen

Die nachfolgende Abbildung 4-3 zeigt den Szenarioaufbau sowie die Systemgrenzen. Es werden vier Teilsysteme betrachtet:

- Teilsystem 1: Herstellung des Zellulosedämmstoffs aus Altpapier

Bilanziert wird die Herstellung und die Anwendung von Einblaszellulose. Hauptinput sind Altpapier und Zusatzstoffe (Borax u.a.). Bei den Zusatzstoffen werden auch die Vorketten bilanziert. Beim Altpapier werden keine Vorketten betrachtet, da es als Reststoff anfällt.

- Teilsystem 2: Substitution von konventionellen Dämmstoffen

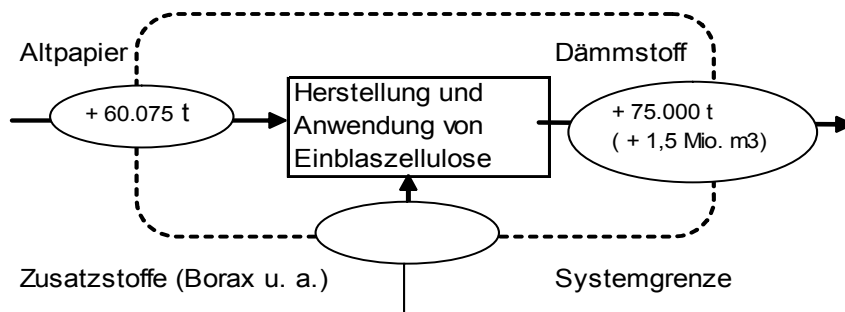
Bilanziert wird hier die Herstellung von konventionellen Dämmstoffen (95 % Mineralwolle und 5 % Polystyrol) einschließlich der Vorketten.

- Teilsystem 3: Einsparung des Prozessschritts Aufbereitung / Deinking von Altpapier

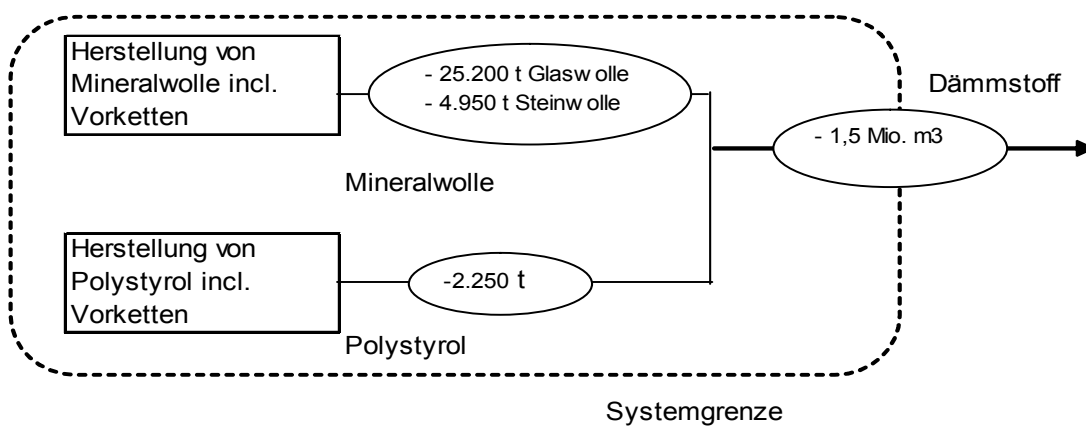
Bilanziert wird hier der Prozess der Altpapieraufbereitung. Der Hauptinput ist Altpapier; der Output ist Deinking Pulp (Altpapierstoff). Beim Altpapier werden keine Vorketten betrachtet, da es als Reststoff anfällt.

⁴ Umsetzungsfristen: Wohnungsneubauten 2006, sonstige Neubauten 2007, Sanierung bestehender Gebäude 2007, Gebäudepässe für Bestand 2009

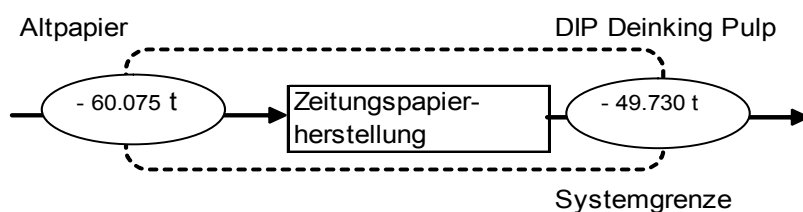
Herstellung des Zellulosedämmstoffs aus Altpapier:



Substitution von konventionellen Dämmstoffen:



Einsparung des Prozessschrittes Aufbereitung / Deinking von Altpapier:



Zusätzliche Herstellung von Holzstoff:

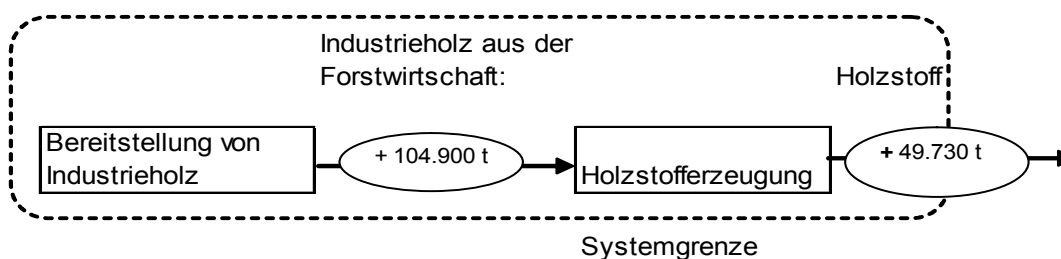


Abbildung 4-3: Schema zum Szenario „Verstärkter Einsatz von Zellulosedämmstoffen in der Gebäudedämmung“

- Teilsystem 4: Zusätzliche Herstellung von Holzstoff als Substitut für Altpapierstoff
Bilanziert wird hier die Herstellung von Holzstoff ab dem Holzeinschlag.

Die Datenquellen für die Stoffstromanalyse zeigt die nachfolgende Tabelle:

Tabelle 4-19: Datenquellen für das Szenario „Verstärkter Einsatz von Zellulosedämmstoffen in der Gebäudedämmung“

Prozess	Datenquelle
Herstellung und Verwendung von Einblaszellulose	[Ecoinvent 2005]
Herstellung von Steinwolle	[ETH 1996]
Herstellung von Glaswolle	[GEMIS 2005]
Herstellung von Kunststoff/EPS	[GEMIS 2005]
Altpapierstoffherstellung aus Altpapier	[UBA 2000]
Holzstoffherstellung aus Waldholz	[UBA 2000]

Im Szenario wird davon ausgegangen, dass die Zellulosedämmstoffe im Zeitraum von 2005 bis 2020 ein jährliches Wachstum von 10 % aufweisen werden. Diese angenommenen hohen Wachstumsraten stützen sich auf positive Erwartungen von Herstellern von Naturdämmstoffen hinsichtlich des Absatzes ihrer Produkte [FNR 2006] [Wieland et al. 2000]. Im Vergleich zu anderen Naturdämmstoffen hat die Zellulosedämmung eine besonders gute Ausgangsposition, da sie als Einblasverfahren bereits sehr gut in den Markt eingeführt ist und preislich mit konventionellen Systemen konkurrieren kann. Die angesetzte hohe Wachstumsrate würde bedeuten, dass sich das Dämmstoffvolumen für Zellulose in 2020 gegenüber 2005 in etwa vervierfacht. Das Szenario geht von einer genauen Vervierfachung gegenüber dem Stand von 2005 aus und bilanziert eine Steigerung des Absatzes der Zellulosedämmstoffe um 1,5 Mio. m³/a (75.000 t/a) auf 2,0 Mio. m³/a (100.000 t/a)⁵.

Diese Menge könnte alleine im Bereich der Dachdämmung platziert werden. Wenn man mittelfristig von einem Gesamtdämmstoffabsatz von rund 30 Mio. m³ ausgeht und annimmt, dass je nach Gebäudetyp 20-30 % für die Dachdämmung eingesetzt werden,

⁵ Angenommen Dichte 50 kg/m³ nach Ecoinvent [2005]

ergäbe sich ein benötigtes Dämmstoffvolumen von 6 – 9 Mio. m³ im Dachbereich. Das Szenario würde damit für 2020 davon ausgehen, dass jedes 3. – 5. Dach mit Zellulose gedämmt würde oder alternativ die Zellulose einen geringeren Marktanteil im Dachbereich hätte, dafür aber in den anderen Einsatzgebieten zusätzliche Marktanteile gewinnen würde.

Durch den vermehrten Einsatz von Zellulose im Dachbereich werden konventionelle Dämmstoffe substituiert. Es wird im Szenario davon ausgegangen, dass von den konventionellen Dämmstoffen im Dach die Mineralwolle mit 95 % den weitaus größten Marktanteil hat und dass Dämmprodukte aus Polystyrol auf einen Marktanteil von 5 % kommen⁶.

4.4.1.3 Ergebnisse der Szenariorechnung

Die nachfolgende Graphik zeigt die Ergebnisse für folgende Prozesse:

- Herstellung der Einblaszellulose und die damit verbundenen zusätzlichen *Umweltlasten* (siehe Balken „**Einblaszellulose**“).
- Substitution der Dämmstoffe Mineralwolle und Polystyrol und die damit verbundenen *Umweltentlastungseffekte* (siehe Balken „**Dämmstoff**“).
- Das in den Dämmstoffbereich verschobene Altpapier fehlt der Herstellung von Zeitungspapier; es wird davon ausgegangen, dass dieses nicht durch verstärkten Import ausgeglichen werden kann und auf Waldholz zurückgegriffen wird. Damit verbunden sind *zusätzliche Umweltlasten* (siehe Balken „**TMP-Herstellung**⁷“)
- Durch den Rückgriff auf Waldholz entfallen die Aufwendungen zur Aufbereitung von Altpapier als Sekundärrohstoff für den Bereich der Zeitungspapiere. Damit verbunden sind *Umweltentlastungseffekte* (siehe Balken „**Deinkingprozess**“).

⁶ Nach Buchert et al.[1999] wird für die Steildachdämmung folgendes angenommen: Anteile Glaswolle 84% (Dichte 20 kg/m³), Steinwolle 11% (Dichte 30 kg/m³), EPS 5% (Dichte 30 kg/m³). In [Buchert et al.] wurden diese Kennwerte in Rücksprache mit Verbänden bzw. Herstellern abgeleitet.

⁷ Holzstoffherstellung mit dem TMP-Verfahren (Thermo mechanical Pulping)

Aus den Graphiken in Abbildung 4-4 wird deutlich, dass das Verschieben von Altpapier in den Dämmstoffbereich nicht über alle diskutierten Wirkungskategorien hinweg positiv zu bewerten ist.

Nach den vorliegenden Daten ist die Herstellung von Einblaszellulose mit vergleichsweise hohen Emissionen an Schwefeldioxid verbunden. Dies führt dazu, dass die Ergebnisse nach den Wirkungskategorien Eutrophierungs- und Versauerungspotenzial unterschiedlich ausfallen. Für die Versauerung weist das Ergebnis eine Mehrbelastung aus, für die Eutrophierung wird eine Umweltbelastung errechnet.

Ebenfalls unterschiedlich sind die Ergebnisse für den Treibhauseffekt (höhere Umweltbelastung) und die Beanspruchung fossiler Ressourcen (Umweltentlastung). Hier resultieren die Ergebnisse für die Herstellung von Einblaszellulose vor allem aus der Beanspruchung von Rohöl- und Erdgaslagerstätten, während das Ergebnis für den Prozess der TMP-Herstellung (Holzstoff) relativ gleich verteilt aus der Beanspruchung von Stein- und Braunkohle sowie auch Erdgas und Rohöl resultiert. Da die Verfügbarkeit von Kohle und vor allem von Erdöllagerstätten unterschiedlich gesehen wird, weichen die Ergebnisse für die beiden Kriterien von einander ab, obwohl auch hinsichtlich des Treibhauseffekts das Ergebnis durch den Einsatz fossiler Brennstoffe bestimmt wird.

Für Feinstaub (PM 10) wird eine Umweltentlastung errechnet, die vor allem auf den vermiedenen PM-10-Emissionen bei der Herstellung konventioneller Dämmstoffe beruht.

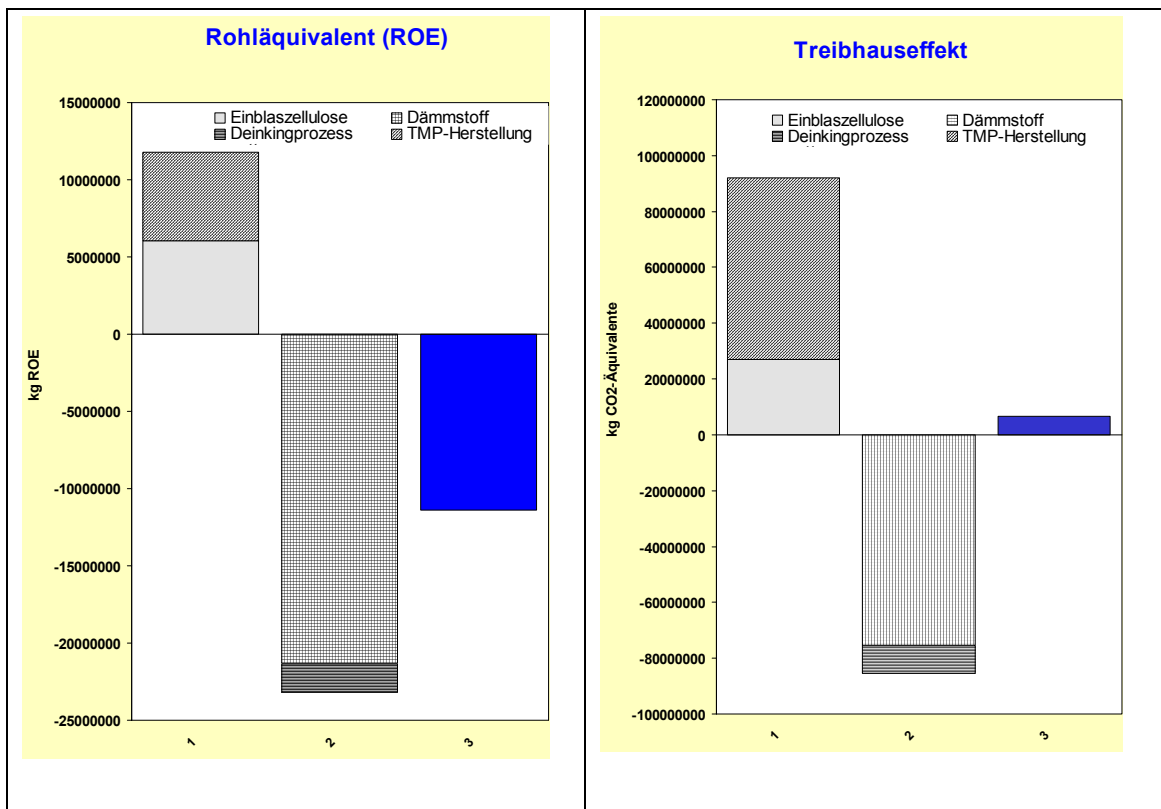


Abbildung 4-4: Szenario „Verstärkter Einsatz von Zellulosedämmstoffen in der Gebäudedämmung“ - Ergebnisse

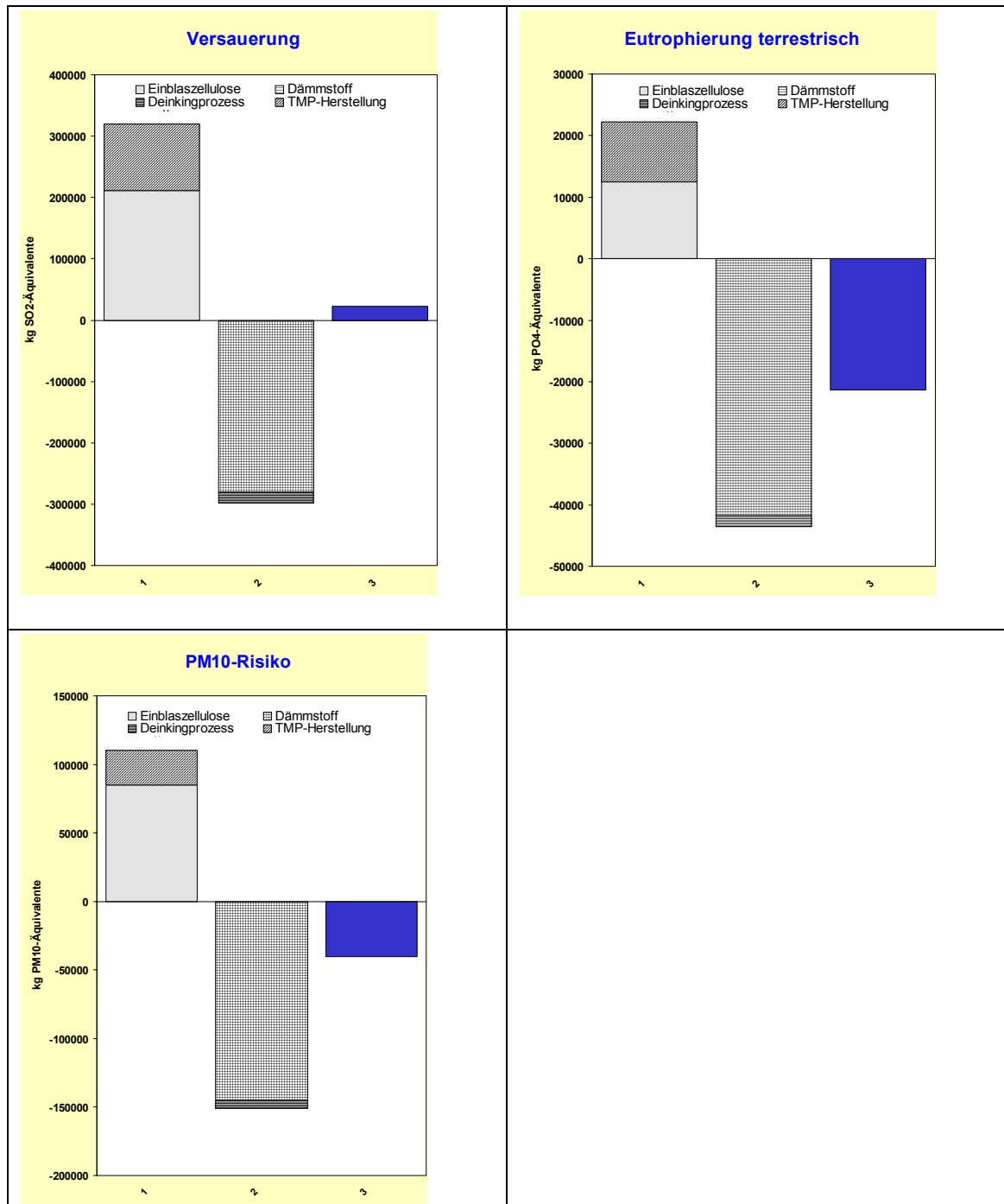


Abbildung 4-5: Verstärkter Einsatz von Zellulosedämmstoffen in der Gebäudedämmung– Ergebnisse (weitere Umweltwirkungen)

4.4.1.4 Schlussfolgerung für einen verstärkten Einsatz von Zellulosedämmstoffen in der Gebäudedämmung

Ein verstärkter Einsatz von Einblaszellulose im Dämmbereich, verbunden mit einer vermehrten Produktion von Holzstoff für die Papierherstellung, ist vom Aspekt des Treibhauseffekts her nicht zu empfehlen, solange wie im Szenario angenommen der Altpapierstrom, der in die Einblaszelluloseherstellung fließt, durch aus Waldholz hergestellten Holzstoff ersetzt werden muss. Die Treibhausbelastung durch die Prozesse der Holzstoff- und Einblaszelluloseherstellung überwiegen hier die die Umwelt entlastenden Komplementärprozesse. Umweltentlastungen können sich hingegen für die Wirkungskategorien Eutrophierung, PM 10 und je nach zugrunde gelegtem Strom-Mix evtl. auch für die Versauerung ergeben, da die Substitution der konventionellen Dämmstoffe zu einer deutlichen Reduktion der Stickoxide führt.

Das Szenario wäre dann neu zu bewerten, wenn der Altpapierkreislauf nicht mehr weitestgehend geschlossen wäre und ungenutztes Altpapier für weitere Recyclingaktivitäten zur Verfügung stände. Die Ergebnisdarstellungen zeigen, dass dann der Ersatz von Dämmstoffen aus fossilen Rohstoffen durch Dämmstoffe aus Zellulose für sich gesehen durchaus relevante Reduktionspotenziale aufzeigt.

4.4.2 Szenario: Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie

In diesem Szenario wird untersucht, in welchem Umfang die Nutzung von Holz aus der Forstwirtschaft (Waldholz) gesteigert werden kann, indem Sägenebenprodukte verstärkt in der Pelletproduktion genutzt werden und zugleich die Sägenebenprodukte, die bisher in der Holzwerkstoffindustrie (v. a. Spanplattenwerke) verwertet wurden, durch Waldholz substituiert werden. Derzeit werden die Sägespäne aus Sägewerken noch zu einem großen Anteil (ca. 77 %) in der Holzwerkstoffindustrie verwertet. Die Holzwerkstoffindustrie verwendet zugleich große Mengen von Waldholz und könnte die Sägespäne ohne große technologische Umstellung durch Waldholz substituieren. Für die Sägespäne wiederum steht mit den Pellet-Kleinfeuerungen ein möglicher Abnehmer zur Verfügung, der über keine anderen Substitutionsmöglichkeiten verfügt. Nur mit Pelletheizungen kann die Nachfrage nach automatisierten Feststofffeuerungen auf Basis erneuerbarer Rohstoffe in Ein- bis Zweifamilienhäusern gedeckt werden, so dass der Einsatz von Waldholz mit einer Verlagerung der Stoffströme folgendermaßen

gesteigert werden könnte: Die Sägespäne aus der Sägeindustrie werden nicht mehr in der Holzwerkstoffindustrie verwertet, sondern annähernd vollständig zur energetischen Nutzung in Form von Pellets genutzt. Hierbei werden in Ein- bis Zweifamilienhäusern Gas- oder Ölheizungen ersetzt. Zugleich steigert die Holzwerkstoffindustrie ihren Waldholzeinsatz, um ihren Rohstoffbedarf zu decken.

4.4.2.1 Sachstand/Grundlagen

Aufkommen an Sägespänen und Sägemehl

In Deutschland fallen derzeit etwa 5,8 Mio. t_{atro} Sägenebenprodukte an (vgl. Kap. 4.2.3), die annähernd vollständig genutzt werden [Mantau 2002]. Rund ein Drittel der Sägenebenprodukte fallen in Form von Sägemehl und Sägespänen an⁸, die für die Pelletproduktion genutzt werden können. Der Rest fällt als gröberes Material in Form von Hackschnitzeln oder Kappstücken an und ist ohne weitere Zerkleinerungsschritte für die Pelletproduktion nicht geeignet. Damit liegt das für die Pelletproduktion geeignete Aufkommen an Sägemehl und Sägespänen in der Größenordnung von 2,0 Mio. t_{atro} . Hauptabnehmer des Sägemehls und der Sägespäne ist derzeit die Holzwerkstoffindustrie. Nach [Mantau 2002] geht nur ein kleiner Anteil des Sägemehls und der Sägespäne von rund 4 % in die Holzschliff- und Zellstoffindustrie, die aus technologischen Gründen vor allem Hackschnitzel einsetzt. In die Energieerzeugung gingen in 2001 nach [Mantau 2002] nur rund 1 % der Sägespäne und Sägemehle.

Entwicklung des Pelletmarkts

Die Produktionskapazitäten für Pellets sind in den vergangenen Jahren von 12.000 t in 2000 auf knapp 400.000 t im Jahr 2005 [Fischer 2005] rasant angestiegen. Demgegenüber steht ein Absatz von rund 330.000 t in 2005. Dennoch wurden in 2005 noch rund 29 % des Pelletbedarfs importiert [Fischer 2005]. Es ist jedoch zu erwarten, dass die neuen Produktionskapazitäten dazu genutzt werden, einen Teil der Importe zu substituieren. Weiterhin ist zu erwarten, dass die Nachfrage nach Pellets mit der zukünftigen Installation von neuen Heizanlagen weiterhin deutlich ansteigen wird. Gefördert werden derzeit Neuanlagen mit einer Leistung bis 100 kW [BAFA 2005]. Damit richtet sich die Förderung an die Hauptzielgruppe für eine Erweiterung des

⁸ Nach Mantau 2002 fallen bei Nadelholz 34% und bei Laubholz 40% des Holzeinsatzs als Sägespäne und Sägemehl an.

Pelletmarkts, die Eigentümer von 1 -2 Familien-Häusern. Für Häuser in dieser Größenordnung gibt es im Bereich der Holzfeuerungen keine alternativen Anlagenkonzepte mit einer vollautomatischen Beschickung. Damit ist die Pelletheizung für kleine Objekte mit einer automatisch beschickten Holzfeuerung die Technik der Wahl. Für größere Objekte gibt es hingegen technisch ausgereifte Anlagen zur Verbrennung von Holzhackschnitzeln, die im Vergleich zu Pelletheizungen günstiger zu betreiben sind, da Hackschnitzel preisgünstiger sind als Pellets.

Würde das gesamte Aufkommen von rund 2,0 Mio. t_{atro} an Sägespänen und Sägemehl für die Pelletproduktion genutzt, würden damit rund 30 PJ Brennstoffenergie bereitgestellt werden. Betrachtet man den gesamten Wärmebedarf der privaten Haushalte in Deutschland in der Größenordnung von 2.600 PJ⁹, zeigt sich, dass mit Pellets aus Sägenebenprodukten rund 1 % des Wärmebedarfs der privaten Haushalte abgedeckt werden könnte. Damit übersteigt die Nachfrage nach Wärme das Wärmeangebot durch realisierte und zukünftig zu erwartende Pelletheizungsanlagen bei weitem. Entscheidend für den weiteren Ausbau des Pelletmarkts ist damit nicht die zukünftige Entwicklung des Wärmebedarfs, sondern vielmehr der Bau von weiteren Pelletheizungsanlagen.

Wirtschaftliche Aspekte des Holz- und Pelletmarkts

Im Jahresbericht der Niedersächsischen Forstverwaltung ist die Preisentwicklung für verschiedene Holzsortimente von 1990 – 2004 dargestellt [Landesforst 2004]. Für alle Holzarten sind die Preise über den genannten Zeitraum gefallen. Im Gegensatz hierzu sind im gleichen Zeitraum die Preise von leichtem Heizöl in Abhängigkeit von saisonalen Einflüssen größenordnungsmäßig um das 1,5 – 2-fache angestiegen [Enervis 2005]. Aufgrund dieser Preisentwicklung, die sich voraussichtlich auch zukünftig so fortsetzen wird, ist davon auszugehen, dass für die Holzwerkstoffindustrie, die auf eine breite Palette von Rohstoffen zurückgreifen kann, eine verstärkte Pelletproduktion aus Sägenebenprodukten keine ernsthafte Bedrohung hinsichtlich einer teuren Rohstoffbeschaffung bedeutet. Der Holzwerkstoffindustrie steht preisgünstiges Waldholz mit hohen noch ungenutzten Potenzialen zur Verfügung. Aus Sicht der Sägewerksbetreiber ist es wiederum wirtschaftlich attraktiv, ihre Sägespäne nicht an die Holzwerkstoffindustrie mit entsprechenden Marktunsicherheiten zu verkaufen, sondern langfristige Lieferverträge mit Pelletherstellern abzuschließen [Pehnt 2006], die einen konstanten

⁹ Rund 2.600 PJ Endenergie für Prozesswärme und Raumwärme in privaten Haushalten in 1997 nach [UBA 2002]

Absatz mit stabilen Preisen zusichern können. Denn die Preisspielräume der Pellethersteller orientieren sich nicht an den in der Vergangenheit rückläufigen Rohholzpreisen, sondern an den tendenziell steigenden Ölpreisen.

Eine alternative Pelletherstellung aus Hackschnitzeln wird in dieser Studie nicht näher betrachtet, da sie aus heutiger Sicht durch den aufwendigen Herstellungsschritt der Zerspanung von Hackschnitzeln oder Stückholz zu teuer ist.

Holzwerkstoffindustrie

In der Holzwerkstoffindustrie werden in größerem Umfang Sägenebenprodukte für die Herstellung von Spanplatten (2,7 Mio. t_{atro} Sägenebenprodukte) und die Herstellung von Faserplatten (1,0 Mio. t_{atro} Sägenebenprodukte) eingesetzt. Die Spanplattenindustrie kann hierbei auf eine breite Rohstoffpalette zurückgreifen und nutzt Waldholz, Sägenebenprodukte, Industrierestholz und Altholz. Im Jahr 2003 kam der Holzrohstoff aus folgenden Quellen [Mantau, Bilitewski 2005]: Waldholz (25 %), Sägenebenprodukte und sonstiges Restholz aus der Holz verarbeitenden Industrie (54 %) und Altholz (21 %). Für die Produktion von Faserplatten kamen 63 % des Holzes aus dem Wald und nur 37 % aus Sägenebenprodukten [Mantau, Bilitewski 2005]. Insgesamt betrug der Holzinput in die Holzwerkstoffindustrie rund 8 Mio. t_{atro} .

Vergleicht man hiermit das Gesamtaufkommen an Sägespänen und Sägemehl von rund 2,0 Mio. t_{atro} , ist festzustellen, dass diese Menge rund ein Viertel des gesamten Rohstoffbedarfs in der Holzwerkstoffindustrie ausmacht und hier realistische Substitutionsmöglichkeiten durch Waldholz bestehen. Für das Waldholzaufkommen wurden in Kapitel 3 ungenutzte Potenziale in der Größenordnung von rund 12 Mio. t_{atro}/a für Stamm- und Industrieholz und 5 – 8 Mio. t_{atro}/a für Schwachholz und sonstiges Waldrestholz genannt.

Für die Herstellung von Spanplatten wird das entrindete Holz zerkleinert. Anschließend werden verschiedene Spangrößen mit genauen Anforderungen an die Spanlänge und die Spandicke erzeugt. Zum Einsatz kommen große Zerspanungsmaschinen, die lange Hölzer (Länge 2 Meter oder mehr je nach Maschinentyp) aufnehmen und in einem oder zwei Arbeitsgängen zerspanen können. Anschließend werden die Sägespäne getrocknet. In der Faserplattenindustrie wird das Holz ebenfalls zunächst zerkleinert und anschließend zerfasert.

4.4.2.2 Szenarioaufbau und Systemgrenzen

Die wesentlichen Teilsysteme und die wesentlichen Szenarioannahmen sind folgende:

Teilsystem 1: „Herstellung von Pellets aus Sägenebenprodukten und Verfeuerung in Kleinlagen“

Hier wird angenommen, dass das Aufkommen an Sägemehl und Sägespänen aus der Sägeindustrie zu rund 80 % (1,6 Mio. t_{atro}/a) für die Pelletproduktion eingesetzt und in Kleinfeuerungsanlagen verbrannt wird. Damit wird die derzeitige Pelletproduktion in etwa vervierfacht. Damit verbunden sind *zusätzliche* Umweltlasten (siehe Balken „**Pelletheizung**“ im Ergebnisdiagramm). Bilanziert werden die Herstellung der Pellets und die Verfeuerung. Die Bereitstellung der Sägespäne wird nicht bilanziert, da die Sägespäne als anfallende Reststoffe betrachtet werden.

Teilsystem 2: „Substitution von Gas- und Ölfeuerungen“

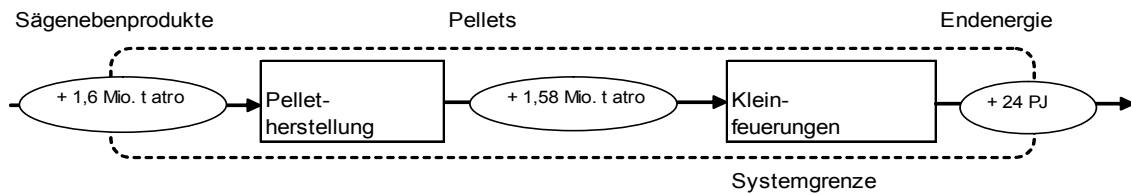
Es wird angenommen, dass die erhöhte Pelletproduktion vollständig zur Substitution von Gas- und Ölzentralheizungen (Anteile 50/50) verwendet wird. Damit verbunden ist eine *zusätzliche Umweltentlastung* (siehe Balken „**konventionelle Heizung**“ im Ergebnisdiagramm). Es werden sowohl die Feuerungen als auch die Vorketten der Brennstoffbereitstellung bilanziert.

Teilsystem 3: „Herstellung von Spänen aus Waldholz für die Holzwerkstoffindustrie“

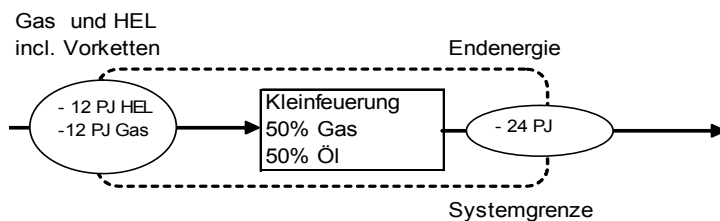
Die Sägespäne und das Sägemehl, die zusätzlich in die Pelletproduktion fließen, stehen der Holzwerkstoffindustrie nicht mehr zur Verfügung. Stattdessen wird dort Waldholz eingesetzt. Die Gewinnung und Aufbereitung des Waldholzes wird vom Holzeinschlag bis zur Erzeugung von Spänen bilanziert. Damit verbunden sind *zusätzliche* Umweltlasten (siehe Balken „**Späne aus Primärholz**“ im Ergebnisdiagramm.)

Die nachfolgende Abbildung zeigt die bilanzierten Stoffströme und Prozesse.

Herstellung von Pellets aus Sägenebenprodukten und Verfeuerung in Kleinanlagen



Substitution von Gas- und Ölfeuerungen



Herstellung von Spänen aus Waldholz für die Holzwerkstoffindustrie

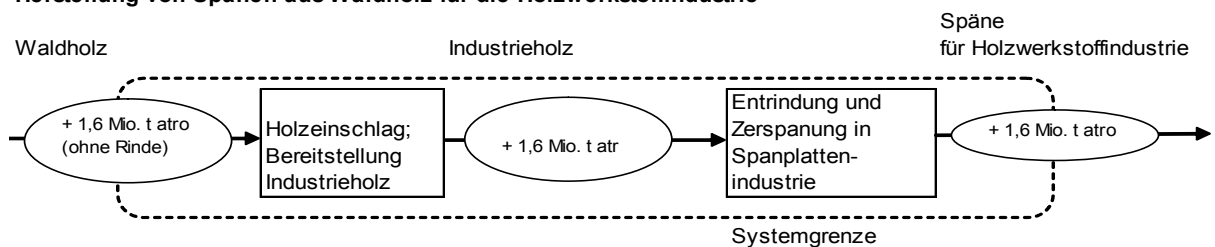


Abbildung 4-6: Szenario „Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie“

Die Datenquellen für die Bilanzierung zeigt die nachfolgende Tabelle.

Tabelle 4-20: Datenquelle für das Szenario „Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie“

Prozess	Datenquelle
Pelletieranlage	[GEMIS 2005]
Pellet-Kleinfeuerung	[GEMIS 2005]
Öl-Kleinfeuerung	[GEMIS 2005]
Gas-Kleinfeuerung	[GEMIS 2005]
Holzeinschlag	[UBA 2000]
Zerspanung in Spanplattenindustrie	[Ressel 1986] ¹⁰

¹⁰ Nach Ressel [1986] liegt der Verbrauch für die Entrindung und Zerspanung im Mittel bei 39 kWh /m³ Rohspanplatte). Bei einer Ausnutzung des Rohholzes von 67,5 % ergeben sich mit den Umrechnungsfaktoren dieses Projekts 51 kWh/t_{atro} Holz.

4.4.2.3 Ergebnisse der Szenariorechnung

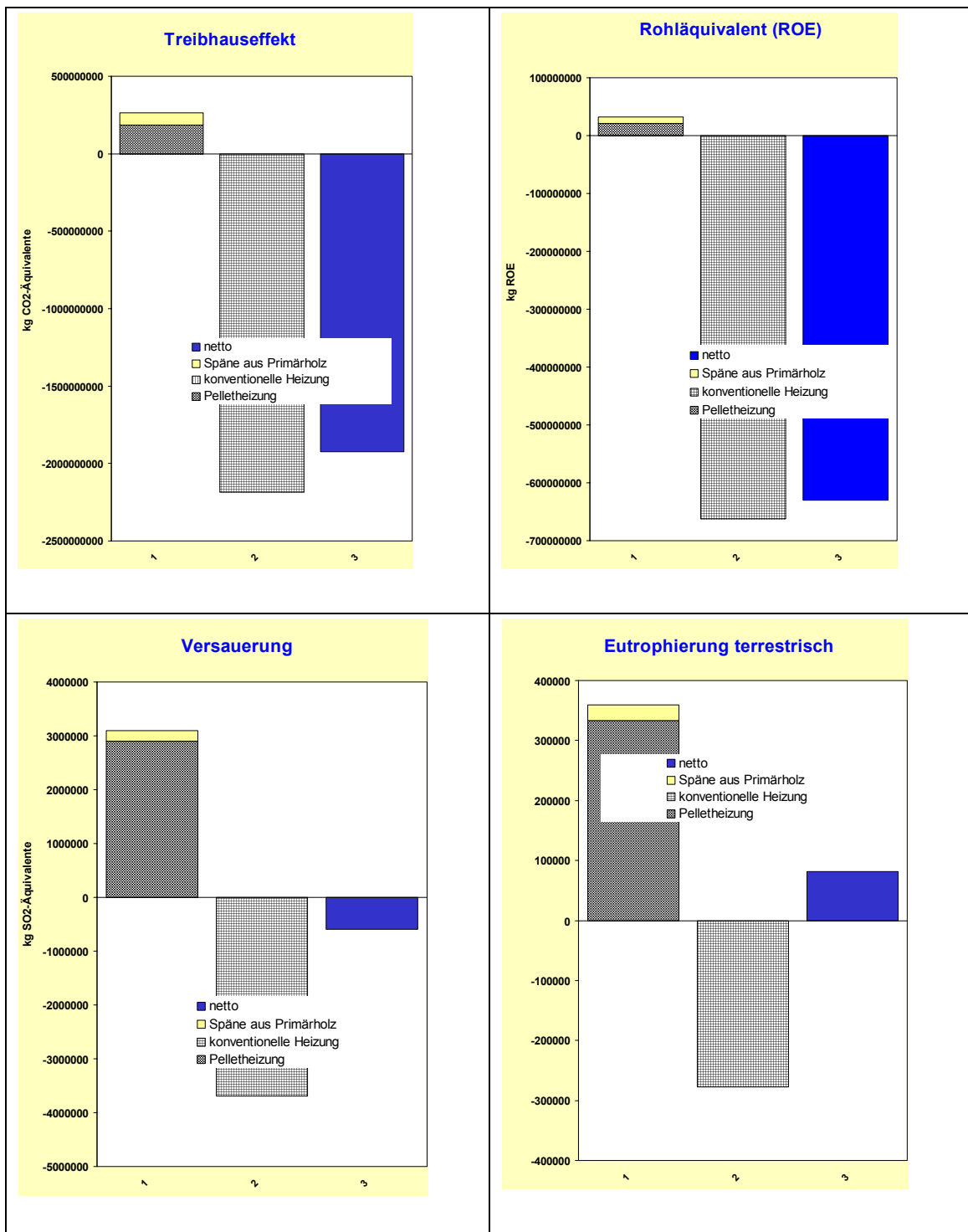


Abbildung 4-7: Ergebnisse für das Szenario „Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie“

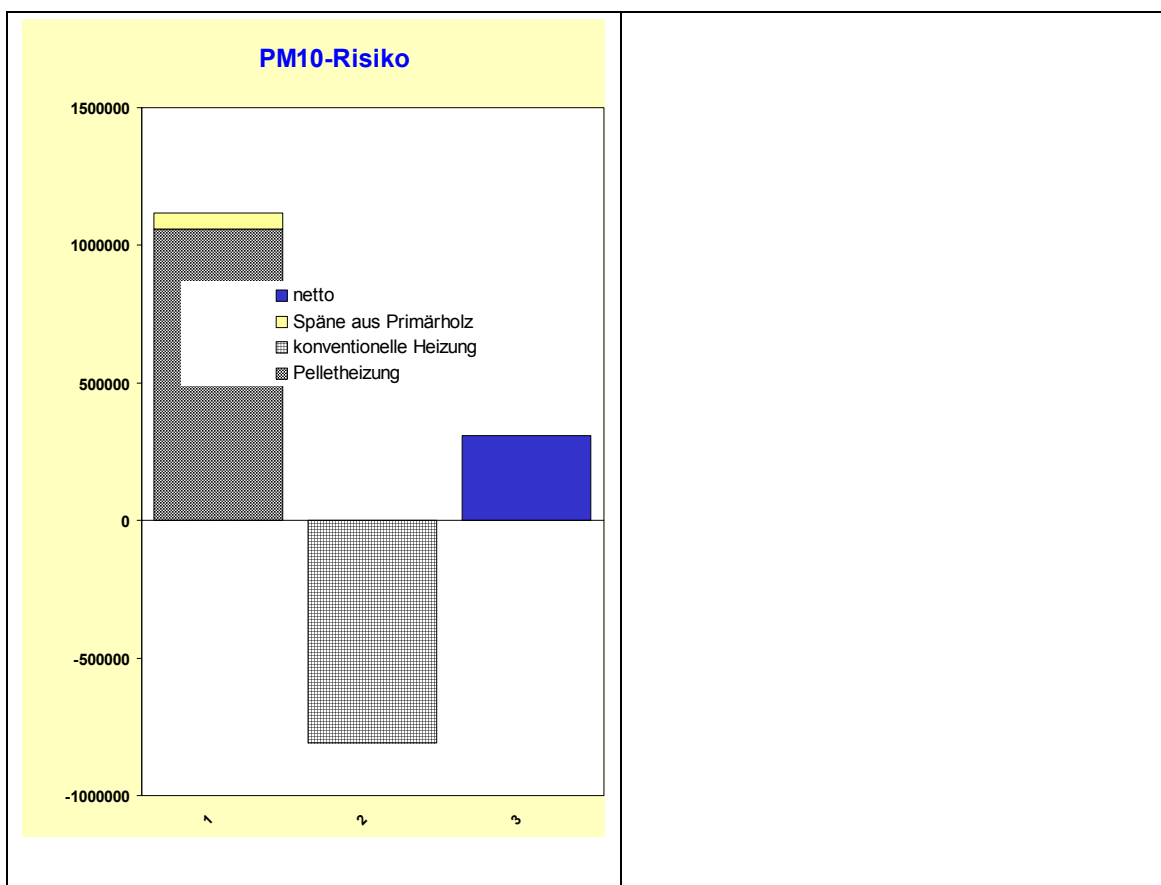


Abbildung 4-7: Ergebnisse für das Szenario „Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie“ (Fortsetzung)

Die in Abbildung 4-7 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Brennstoff aus Holz gegenüber der Verfeuerung von fossilen Rohstoffen sowohl unter dem Gesichtspunkt der Schonung entsprechender Lagerstätten bzw. Ressourcen sowie dem Klimaschutz deutlich von Vorteil ist. Die Energieaufwendungen, die in die Pelletherstellung als auch in die Aufbereitung des Waldholzes fließen, stehen in keinem Verhältnis zu den damit verbundenen Substitutionserfolgen. Auch für die Versauerung ergeben sich in der Summe Umweltentlastungen. Hierzu trägt vor allem die Substitution von Ölheizungen bei. Legt man eine verstärkte Substitution von Erdgas zugrunde, kann sich auch ein neutrales Ergebnis für die Versauerung ergeben.

Anders sieht es bei den übrigen Umweltkriterien aus. Für die Eutrophierung ist die Verfeuerung von Pellets mit höheren spezifischen Emissionen und Umweltwirkungen verbunden als die Verfeuerung von fossilen Brennstoffen inkl. der Lasten für die Bereitstellung der fossilen Brennstoffe. Für PM10 wird das Ergebnis bei allen Prozes-

sen von der Freisetzung von Stickoxiden als Vorläufersubstanz bestimmt¹¹. Bei der Pelletheizung kommt darüber hinaus die Freisetzung von Primärstäuben hinzu, so dass in der Summe die Verfeuerung von Pellets zu einer höheren PM10-Belastung führt.

4.4.2.4 Schlussfolgerung für den Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie

Die Herstellung von Pellets aus Sägenebenprodukten und die Verfeuerung in Kleinanlagen sind aus Sicht des Klimaschutzes und der Einsparung fossiler und mineralischer Ressourcen sehr zu empfehlen. Vermehrte Umweltbelastungen können hingegen für die Eutrophierung und das PM10-Risiko auftreten. Hauptursache sind hier die höheren NO_x-Emissionen von Pelletfeuerungen im Vergleich zu Öl- und Erdgasfeuerungen. Da Öl und Erdgas jedoch endliche Ressourcen sind, wird dennoch empfohlen, eine verstärkte Pelletnutzung zu propagieren und zu fördern. Hinsichtlich der Staubemissionen ist hier zu anzuemerken, dass insbesondere Pellets gefördert werden sollten, die über entsprechende Zertifizierungen nachweisen, dass sie eine staubarme Verbrennung ermöglichen und dass weitere technische Maßnahmen zur Reduzierung der Staubemissionen ergriffen werden sollten.

4.5 Fazit für die Forst-, Holz- und Papierwirtschaft

Die Betrachtung der aktuellen Stoffströme in der Forst- und Holzwirtschaft hat gezeigt, dass die anfallenden Reststoffe in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft sowie die anfallenden Holzabfälle nahezu vollständig stofflich oder energetisch verwertet werden. Ein wesentlicher Grund für die hohen Verwertungsquoten sind die vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten von Holzprodukten und Papier. Neben der stofflichen Nutzung (Sekundärrohstoff in der Holzwerkstoffindustrie, Altpapierrecycling, Rindenmulch u.a.) ist die Verbrennung sowohl in einfachen Kleinanlagen als auch in Großanlagen verbreitete Praxis und rentabel. Hinsichtlich der Nutzung der Reststoffe aus den Holzverarbeitenden Sektoren und der Abfallwirtschaft ist darum kaum Optimierungsspielraum zu sehen.

¹¹ Vgl. Tabelle 3-1

Hingegen befinden sich in der Forstwirtschaft noch hohe ungenutzte Potenziale sowohl bei der Nutzung von Stamm- und Industrieholz als auch in der Nutzung von sonstigem Schwachholz und Waldrestholz (vgl. Kap. 4.2.2: ungenutzte Potenziale unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien: rund 9 Mio. t_{atro} für Stamm- und Industrieholz und 4 Mio. – 7 Mio. t_{atro} für sonstiges Schwachholz und Waldrestholz).

Die entscheidende Stellgröße bei der Optimierung der Biomasseströme im Bereich der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft ist daher die Steigerung des Einsatzes von Waldholz zur Substitution anderer nicht-erneuerbarer Ressourcen. Eine Möglichkeit hierzu ist die verstärkte energetische Nutzung von Waldholz, deren Untersuchung jedoch nicht Bestandteil dieses Projekts ist.

Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Szenario untersucht, dass einen verstärkten Einsatz von Zellulosedämmstoffen betrachtet. Hiermit werden konventionelle Dämmstoffe (Mineralwolle und Polystyrol) substituiert. Zugleich wird in diesem Szenario angenommen, dass das für die Herstellung der Zellulosedämmstoffe verwendete Altpapier nicht mehr für ein anderweitiges Recycling innerhalb der Papierindustrie zur Verfügung steht, so dass entsprechend mehr Waldholz für die Holzstoffherzeugung für die Papierindustrie bereitgestellt werden muss. Die ökobilanzielle Untersuchung des Szenarios hat gezeigt, dass dieses Vorgehen aus Sicht des Klimaschutzes nicht zu empfehlen ist. Die Treibhausbelastung durch die Prozesse der Holzstoff- und Einblaszelluloseherstellung überwiegen hier die die Umwelt entlastende Substitution der konventionellen Dämmstoffe. Das Szenario wäre dann neu zu bewerten, wenn der Altpapierkreislauf als nicht weitestgehend geschlossen angenommen würde und ungenutztes Altpapier für weitere Recyclingaktivitäten wie beispielsweise die Herstellung von Einblaszellulose zur Verfügung stände. Unter diesen Randbedingungen wäre das Szenario aus Sicht des Klimaschutzes zu empfehlen.

Das zweite untersuchte Szenario kam zu positiven Ergebnissen. Es beschäftigt sich mit der Nutzung von Sägespänen. Diese werden derzeit noch zu einem großen Anteil (ca. 77 %) in der Holzwerkstoffindustrie verwertet. Die Holzwerkstoffindustrie verwendet zugleich große Mengen von Waldholz und könnte die Sägespäne ohne große technologische Umstellungen durch Waldholz substituieren. Für die Sägespäne wiederum steht mit den Pellet-Kleinfeuerungen ein möglicher Abnehmer zur Verfügung, der über keine anderen Substitutionsmöglichkeiten verfügt. Nur mit Pelletheizungen kann die Nachfrage nach automatisierten Feststofffeuerungen auf Basis erneuerbarer Rohstoffe in Ein- bis Zweifamilienhäusern gedeckt werden. Der Einsatz von Waldholz könnte also

mit einer Verlagerung der Stoffströme folgendermaßen gesteigert werden: Ein Großteil der Sägespäne aus der Sägeindustrie wird nicht mehr in der Holzwerkstoffindustrie verwertet, sondern zur energetischen Nutzung in Form von Pellets genutzt. Hierbei werden in Ein- bis Zweifamilienhäusern Gas- oder Ölheizungen ersetzt. Zugleich steigert die Holzwerkstoffindustrie ihren Waldholzeinsatz, um ihren Rohstoffbedarf zu decken. Dieses Vorgehen ist aus Sicht des Klimaschutzes und der Einsparung fossiler und mineralischer Ressourcen sehr zu empfehlen. Vermehrte Umweltbelastungen können hingegen für die Eutrophierung und das PM10-Risiko auftreten. Da Öl und Erdgas jedoch endliche Ressourcen sind, wird dennoch empfohlen, eine verstärkte Pelletnutzung und eine entsprechende Umlenkung der Stoffströme zu propagieren und zu fördern. Hinsichtlich der Staubemissionen ist hierzu anzumerken, dass insbesondere Pellets gefördert werden sollten, die über entsprechende Zertifizierungen nachweisen, dass sie eine staubarme Verbrennung ermöglichen und dass weitere Maßnahmen zur Reduzierung der Staubemissionen ergriffen werden sollten.

Weiterhin hat die Untersuchung der Phosphorströme gezeigt, dass sich im Stoffstrom Holz im Verhältnis zu den Stoffströmen Tiermehl, kommunaler Klärschlamm und Gülle nur kleine Mengen befinden, so dass hier kein relevanter Optimierungsspielraum besteht.

5 Stoffströme in der Landwirtschaft

In diesem Kapitel wird zunächst ein grober Überblick über die Biomasseströme in der Landwirtschaft vermittelt. Anschließend werden die Einzelstoffströme der Teilsektoren genauer untersucht.

Die Biomasseströme in der Landwirtschaft beginnen mit der Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen (Acker und Grünland). Die pflanzlichen Produkte gelangen im nächsten Schritt zur Verarbeitung zu Nahrungs- und Genussmitteln, Futtermitteln oder auch zu industriellen Erzeugnissen. Ein Teil wird direkt vermarktet (über den Großhandel oder an den Endverbraucher). Und ein nicht unwesentlicher Anteil der pflanzlichen Ausgangsstoffe wird auch direkt als hofeigene Futtermittel in der Tierhaltung verfüttert. Dies gilt insbesondere für Getreide, Futterpflanzen und Grasschnitt von Grünland.

Die Erzeugnisse der Viehhaltung gelangen ebenfalls in den Handel bzw. in die Weiterverarbeitung - das Fleisch über Schlachthöfe und die fleischverarbeitende Industrie, Milch zur Milchverarbeitung in Molkereien. Eier werden dem Handel oder der Lebensmittelindustrie zugeleitet, Wolle von lebenden Tieren den Weiterverarbeitungs- bzw. Entsorgungsbetrieben. Am Ende der Kette steht der Konsum der pflanzlichen und tierischen Produkte in den privaten Haushalten oder den Einrichtungen des Gastwerbes bzw. der Export der Produkte.

An allen Stellen der Produktion, der Verarbeitung und des Konsums landwirtschaftlicher Güter fallen unterschiedliche Biomassen zur Verwertung bzw. Entsorgung an. Reststoffe aus der Nahrungs- und Futtermittelindustrie werden je nach Beschaffenheit und Marktnachfrage an Tiere verfüttert, als Bioabfall kompostiert oder als Co-Fermente in Biogasanlagen vergoren. Weiterhin fallen organisch belastete Abwässer an, die feste Rückstände in der Abwasserbehandlung wie Fettabscheiderinhalte oder Klärschlämme verursachen. Die Reststoffe der industriellen Lebensmittelweiterverarbeitung sind hier nur als Inputstoffe (Futtermittel) in das System Landwirtschaft betrachtet.

Den Hauptmassenstrom an Reststoffen aus der Viehhaltung bilden die Tierexkreme, die als Wirtschaftsdünger auf landwirtschaftliche Flächen (ggf. nach einer Vergärung) zurückgeführt werden. Tierkadaver und Tierkörperreste aus der Viehwirtschaft und aus Schlachtbetrieben werden in Tierkörperbeseitigungsanlagen (TBA) entsorgt. Einige Tierkörperreste von hygienisch als tauglich beurteilten Tieren werden der industriellen

Verarbeitung zugeführt (z. B. Häute, Knochen oder Hörner für Gelatine, Leder u. a. Produkte).

Landwirtschaftliche Produkte (pflanzliche Rohstoffe, Tierkörperhälfen und Lebendvieh) sowie deren gesamte aufgezeigte Verarbeitungsstufen (weiterverarbeitete Lebensmittel, Vorprodukte und Futtermittel) werden außerdem international gehandelt, entsprechende Import- und Exportströme müssen beachtet werden.

Die betrachteten Elemente des Stoffstromsystems „Landwirtschaft“ gibt Abbildung 5-1 wieder.

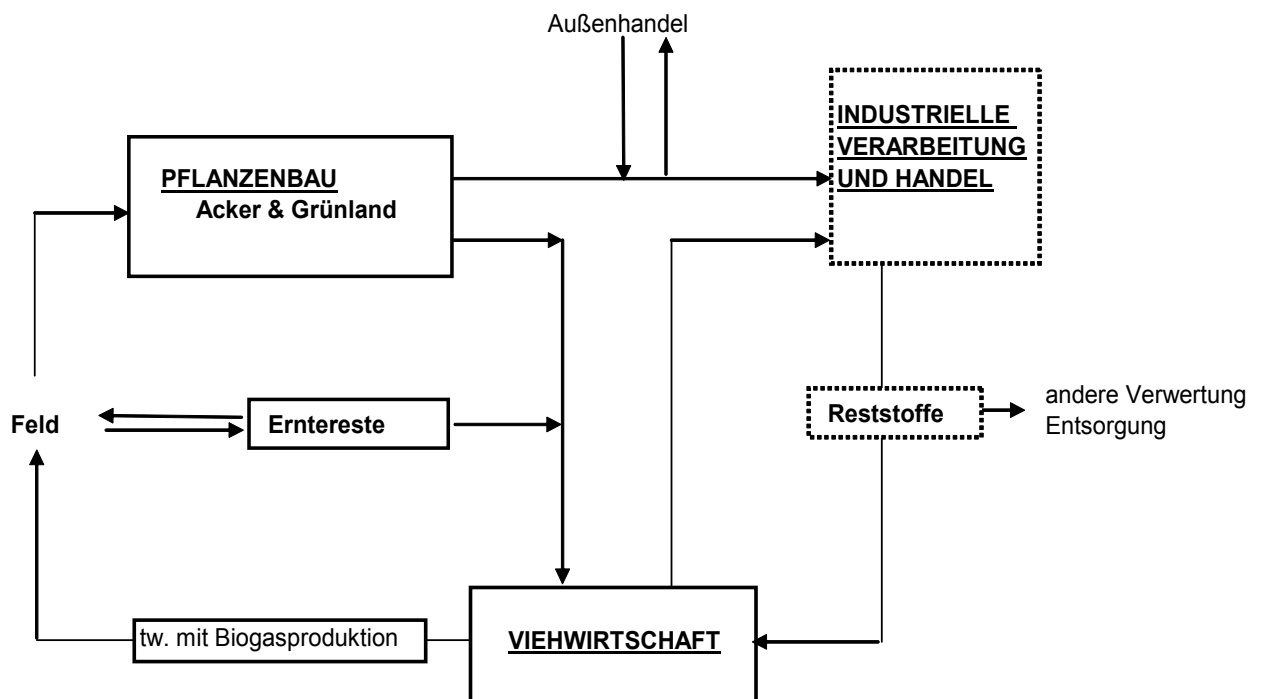


Abbildung 5-1: Übersicht über die Massenströme im Bereich Landwirtschaft

Die weitere Darstellung erfolgt für die zwei Teilsektoren Acker- und Viehwirtschaft. Das Bezugsjahr der Stoffströme ist in der Regel 2000, da die Daten überwiegend auf dem Projekt „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ basieren [Öko-Institut 2004]. Quantitative Angaben in den Abbildungen und Tabellen im Text sind nur in Frischmassen angegeben, da diese einen besseren Überblick über tatsächliche Massen vermitteln, die im Falle einer Nutzung oder einer Nutzungsveränderung mobilisiert werden müssten.

5.1 Darstellung des Pflanzenbaus

In der Ackerwirtschaft fallen so genannte Ernterückstände an, die entweder direkt auf dem Feld verbleiben und dem Boden untergepflügt bzw. -gegrubbert werden oder die zur weiteren Nutzung geborgen werden. In diesem Projektzusammenhang werden die Rückstände aus dem Anbau von Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln detaillierter betrachtet. Für andere Rückstände werden die Massen überschlägig bilanziert.

Bereits heute werden nicht mehr sämtliche Grünlandstandorte für die Tierhaltung genutzt, sondern sind bereits aus der Nutzung gefallen. Damit diese Flächen nicht der Sukzession zum Opfer fallen, werden sie regelmäßig gemäht. Dieser Grasschnitt wird nicht in diesem Kapitel betrachtet, sondern in Kapitel 6 bei den Landschaftspflegereisen behandelt.

5.1.1 Aktuelle Stoffströme: Stroh

Mit einer Anbaufläche von knapp 6 Mio. ha ist Getreide eines der wichtigsten landwirtschaftlichen Produkte in Deutschland. Im Jahr 2003 wurde auf etwa 58 % der landwirtschaftlich genutzten Ackerfläche Getreide angebaut [BMVEL 2004]. Die Angaben für die Gesamtmenge des anfallenden Strohs¹² schwanken zwischen rund 36 Mio. t_{FM}/a [Öko-Institut 2004], 38 Mio. t_{FM}/a [Kaltschmitt 2003] und 43 Mio. t_{FM}/a [Leible et al. 2003]. Die Ursache für diese Schwankungsbreite wird nicht klar, da die Systemannahmen der Studien unterschiedlich detailliert beschrieben sind. Eine Ursache dürften variierende Angaben zum Korn:Stroh-Verhältnis sein, das nicht statistisch erhoben wird.

Der Außenhandel mit Stroh ist bedeutungslos. In der Agrarstatistik sind Importe und Exporte von jeweils um die 150.000 t für das Jahr 2000 aufgeführt, insgesamt führt der Außenhandel zu einem Nettoimport von 8.700 t Stroh, Grün- und Rauhfutter– angesichts dieser geringen Mengen und der Aggregation der Einzelsubstrate wird der Außenhandel nicht weiter berücksichtigt.

Nur ein Teil des gesamten Strohaufkommens steht zur stofflichen oder energetischen Nutzung außerhalb der Landwirtschaft zur Verfügung, da Stroh auch betriebsintern als

¹² Die Angabe bezieht sich auf den abgeschnittenen Halm, Stoppelstroh und unterirdische Pflanzenteile sind in der Angabe nicht enthalten.

Stalleinstreu, Tierfutter und organischer Dünger¹³ benötigt wird. Die Stalleinstreu gelangt als Festmist schließlich wieder als Dünger in den Boden. Außerhalb der Landwirtschaft wird Stroh in Gärtnereien als Bodenverbesserer verwendet, eine Nutzung in geringem Maße findet auch als Baumaterial und Brennstoff statt. Zur stofflichen Nutzung gibt es keine Angaben, die energetische Nutzung wird auf 210.000 t pro Jahr geschätzt, die überwiegend in dezentralen landwirtschaftlichen Anlagen verbrannt werden [IE 2003].

Über die derzeitige Nutzung des Strohs liegen keine Statistiken vor, so dass nur auf Abschätzungen zurückgegriffen werden kann: Die Nutzung als Stalleinstreu wird auf 8,45 Mio. t_{FM}/a (Rinder und Schweine) geschätzt, der *Bedarf* als Bodenverbesserer auf 22,9 Mio. t_{FM}/a [Öko-Institut 2004]. Doch derzeit verbleibt angesichts weniger wirtschaftlicher Nutzungsalternativen das gesamte Reststroh auf den Feldern (27,35 Mio. t_{FM}/a)¹⁴.

Zum Vergleich: Leible et al. [2003] geben einen landwirtschaftlichen Strohbedarf von 10,8 Mio. t_{FM}/a an (Einstreu und Futter) und gehen davon aus, dass 31,9 Mio. t_{FM}/a auf dem Feld verbleiben.

Die gesamte Strohmenge schwankt zwischen beiden Studien um rund 4 Mio. t_{FM}/a . Die Gründe hierfür gehen nicht aus den Angaben in den Studien hervor. Doch hängen die Zahlen nach eigener Erfahrung wesentlich von den zugrunde gelegten Korn:Stroh-Verhältnissen ab. Außerdem wird die Rechnung davon beeinflusst, ob die Getreideerträge jahresscharf angesetzt oder ob gleitende Mittel verwendet werden. Die Einstreumenge schwankt dagegen zwischen 8,45 und 10,8 Mio. t_{FM}/a . Dies liegt an den Annahmen für die Art der Ställe und der Zahl im Stall gehaltener Tiere, sowie der Zahl der berücksichtigten Tierarten. Entsprechend variiert am Ende die Größe des Reststrohs, das auf den Feldern als Bodenverbesserer verbleibt.

Die derzeitige energetische Nutzung von Stroh beschränkt sich auf einige ältere Strohheizungen und die Mitverbrennung von Stroh in Großkraftwerken (0,21 Mio. t_{FM}/a) [IE 2003b]. In EEG-vergüteten Anlagen wird Stroh dagegen derzeit (Stand Herbst

¹³ Gemeint ist die Einarbeitung des Strohs in den Ackerboden zur organischen Düngung.

¹⁴ Im Rahmen des Projekts „Stoffstromanalyse der nachhaltigen Nutzung zur Biomasse“ wurde der Rückfuhr der organischen Substanz in den Boden eine hohe Bedeutung beigemessen und eigens eine Teiluntersuchung zur Strohentnahme aus Sicht des Bodenschutzes angefertigt, siehe Arbeit von A. Grell im Anhangband zu [Öko-Institut 2004].

2005) nicht verbrannt [IE 2005a], da Stroh, wie alle Halmgüter, durch niedrige Ascheschmelzpunkte und seine Rauchgaszusammensetzung in kleinen Anlagen zu Problemen führt¹⁵.

Anfall und Nutzung von Stroh im Jahr 2000 sind in Tabelle 5-1 als Frischmasse, Trockenmasse, sowie in Mengen an Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor aufgelistet

Tabelle 5-1: Getreidestrohanfall und Nutzung in Deutschland im Jahr 2000, Quellen: [Öko-Institut 2004] und *[IE 2003]

Stoffstrom	Einheit	Frischmasse	Trockenmasse	C	N	P
Angebot:						
Insgesamt	Mio. t/a	36,01	30,97	13,36	0,13	0,05
derzeitige Strohnutzung:						
Stalleinstreu, Futter	Mio. t/a	8,45	7,27	3,14	0,03	0,01
Energienutzung*	Mio. t/a	0,21	0,18	0,07	0,00	0,00
Baustoffindustrie	Mio. t/a	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Rest: zurückgeführt in den Boden (derzeit)	Mio. t/a	27,35	23,52	10,15	0,1	0,04

5.1.2 Potenziale: Stroh

Das theoretische Strohpotenzial entspricht dem gesamten Stoffstrom Stroh von 36,01 Mio. t_{FM}/a (bzw. 30,97 Mio. t_{TM}/a), wie er im vorherigen Kapitel dargestellt wurde. Unter der Annahme von technischen und ökologischen Restriktionen liegt das Potenzial aber geringer. Zwingende Restriktionen bilden der innerbetriebliche Erhalt der Nährstoffkreisläufe und der Stalleinstreubedarf. Weitere Restriktionen bilden Ernteverluste durch feuchte Witterung oder Erschließungsprobleme angesichts weiter Transportwege oder unzureichender Logistik [Thrän 2002].

Daher werden zunächst der Strohbedarf für Stalleinstreu und Bodeneinarbeitung vom theoretischen Potenzial abgezogen. Angesichts der erwähnten Erschließungsrestriktionen

¹⁵ Diese Einschätzung basiert auf dem Messprogramm der TLL zu Strohfeuerungen für das IE Leipzig (2006, bisher unveröffentlicht)

nen wird davon ausgegangen, dass nur etwa 90 % des verbleibenden Strohs vom Acker geborgen werden, vergleiche Tabelle 5-2.

Tabelle 5-2: Potenzialabschätzung für Getreidestroh für das Jahr 2000 Quellen: [Öko-Institut 2004] und *[IE 2003]

Stoffstrom	Einheit	Frischmasse	Trockenmasse	% von theor. Potenzial
Theoretisches Potenzial (Jährlicher Strohanfall)	Mio. t/a	36,01	30,97	100 %
Abzug: Stalleinstreu	Mio. t/a	-8,45	-7,27	
Abzug: Mindestbedarf für den Boden	Mio./a	-22,90	-19,69	
mögliche Entnahme	Mio./a	4,66	4,01	
Mobilisierungsrate	%	90 %	90 %	
Technisch-ökologisches Potenzial	Mio. t/a	4,19	3,60	11,6 %
Abzug: derzeitige Energienutzung	Mio. t/a	-0,21	-0,18	
Ungenutztes technisch-ökologisches Potenzial	Mio. t/a	3,98	3,42	11,1 %
	PJ/a	56,1		

* nur für die Ermittlung des ungenutzten Potenzials, theoretisches und technisch-ökologisches Potenzial beinhalten die heutige energetische Strohnutzung.

Damit stehen insgesamt noch 11,1 % des Gesamtstrohaufkommens ungenutzt für eine energetische oder stoffliche Nutzung zur Verfügung, das sind weitere 3,98 Mio. t Frischsubstanz pro Jahr. Das entspricht einem Energiepotenzial von 56,1 PJ/a im Jahr 2000. Zukünftig kann der Wert durch sinkende Nachfrage nach Stroh zur Einstreu noch leicht ansteigen¹⁶.

5.1.3 Aktuelle Stoffströme: Rüben-, Kartoffelblatt und andere krautige Erntereste

Auch bei weiteren Ackerkulturen fallen zusätzlich zu den Erntefrüchten Reststoffe an, die nur teilweise als Futtermittel genutzt werden. Feuchte Erntereste (Grünmassen) können nicht wie das trockene Getreidestroh verbrannt werden, doch besteht für sie die Möglichkeit als Co-Ferment zur Biogasgewinnung genutzt zu werden. Eine anschlie-

¹⁶ Der Bedarf sinkt angesichts zurückgehender Tierbestände und zunehmender Anteile an Flüssigmist in der Tierhaltung

ßende Rückführung der Gärreste auf den Acker hat in Bezug auf die Humusbilanz nahezu dieselbe Wirkung wie eine Gründüngung.

In dieser Arbeit werden lediglich die mengenrelevanten Kulturen Rüben, Kartoffeln, Ölsaaten, Hülsenfrüchte und Gemüse betrachtet. Maisstroh wird hier nicht betrachtet, da unklar ist, in welchem Maße der angebaute Mais bereits als Ganzpflanzensilage als Tierfutter und für Biogasanlagen genutzt wird. Rapsstroh ist dagegen ebenso trocken wie Getreidestroh, gehäckselt kann es aber dennoch als Co-Ferment verwendet werden.

Rüben- und Kartoffelkraut fällt mit 24,94 Mio. t Frischmasse pro Jahr an, Rapsstroh mit 9,86 Mio. ha. Die Reste aus dem Anbau von Sonnenblumen, Hülsenfrüchten und Gemüse sind dagegen mit insgesamt 1,7 Mio. t_{FM}/a deutlich kleiner.

Die Erntereste verbleiben heute zum größten Teil als Gründüngung auf dem Acker. In geringem Umfang wird das Rübenblatt als Futter für Rinder verwendet, hierzu liegen jedoch keine Zahlen vor. Die folgende Darstellung gibt einen Überblick über die Massenströme der Erntereste in Deutschland.

Tabelle 5-3: Erntereste ausgewählter Kulturen und deren Nutzung in Deutschland im Jahr 2000 [Öko-Institut 2004]

Stoffstrom	Einheit	Frischmasse	Trockenmasse	C	N	P
Angebot:						
Zuckerrüben- und Kartoffelkraut	Mio. t/a	24,94	6,24	0,99	0,10	0,001
Rapsstroh	Mio. t/a	9,86	8,48	3,94	0,035	0,005
Hülsenfrüchte	Mio. t/a	1,05	0,52	0,26	0,004	0,002
Sonnenblumenstroh	Mio. t/a	0,29	0,31	0,16	0,01	0,002
Gemüsereste	Mio. t/a	0,37	0,06	0,024	0,001	0,000
Summe	Mio. t/a	36,51	12,06	5,374	0,15	0,01
Anteil Rapsstroh sowie Rüben- und Kartoffelkraut		95 %	93 %	92 %	90 %	60 %

5.1.4 Potenziale: Rapsstroh sowie Rüben- und Kartoffelblatt

Rapsstroh sowie Rüben- und Kartoffelblatt bildeten mit 95 % im Jahr 2000 den größten Anteil der hier betrachteten Erntereste. Aus diesem Grunde wird das Potenzial der anderen Erntereste im Weiteren vernachlässigt.

Etwa ein Drittel der Zuckerrüben- und Kartoffelreste könnte ohne Nutzungskonkurrenz zu den Futtermitteln geborgen werden [Öko-Institut 2004], Rapsstroh kann zu etwa 50 % geborgen werden. Das entspricht 34,8 Mio. t_{FM}/a Ernterückständen, die einen Biogasertrag mit einem Heizwert von 36 PJ liefern könnten. Da die Erntereste heute (vor allem aus wirtschaftlichen Gründen) nicht genutzt werden, ist das ungenutzte mit dem technisch-ökologischen Potenzial in diesem Falle identisch.

Ein weiteres, hier nicht betrachtetes technisches Hemmnis könnte die Kapazität an Biogasanlagen bilden. Es ist nicht betrachtet worden, inwiefern die Betriebe die Möglichkeit haben, Biogasanlagen zu errichten und in welchem Maße sich die Trockenfermentation als wirtschaftliche Option entwickelt, um auch Pflanzenreste aus reinen Ackerbauregionen zu vergären.

Tabelle 5-4: Biogaspotenzial aus landwirtschaftlichen Reststoffen [Öko-Institut 2004 – Daten aus dem Referenzszenario in Frischmassen]

	Einheit	Rübenblatt	Kartoffelblatt	Rapsstroh
Theoretisches Potenzial	Mio. t _{FM} /a	22,3	2,64	9,86
Mobilisierungsrate	%	33 %	33 %	50 %
Technisch-ökologisches Potenzial	Mio. t _{FM} /a	6,69	0,87	4,93
Derzeitige Nutzung	Mio. t _{FM} /a	0	0	0
Ungenutztes technisch-ökologisches Potenzial	Mio. t _{FM} /a	6,69	0,87	4,93
Energiepotenzial (Biogas)	PJ	8,03	1,04	27
Summe				
Theoretisches Potenzial (in Trockenmasse)	Mio. t _{TM} /a	14,72		
Technisch-ökologisches Potenzial (Trockenmasse)	Mio. t _{TM} /a	6,23		
Ungenutztes technisch-ökologisches Potenzial (Summe in Trockenmasse)	Mio. t _{TM} /a	6,23		
	PJ/a	36,07		

5.2 Darstellung der Reste aus dem Obst- und Weinbau

Die Rückstände aus der Obst- und Weinwirtschaft umfassen Schnittgut aus der Mahd der Reihenzwischenräume, ungeerntete Früchte sowie Holzschnitt. Über die Menge der Rückstände liegen keine Statistiken vor. Es werden daher nachfolgend allein Abschätzungen für die Mahd in den Obstkulturen gemacht. In Weinkulturen ist der Unterwuchs geringer und wird vernachlässigt.

Bislang wurde das Schnittmaterial auf der Fläche gehäckselt und zur Humusbildung genutzt, teilweise wird Holzschnitt auch vor Ort verbrannt um evtl. anhaftende Pilz- und Krankheitserreger zu vernichten. Vor dem Hintergrund der EEG-Vergütung prüfen einzelne Akteure, inwiefern die energetische Nutzung attraktiv sein könnte [Köppen 2006]. Da diese Überlegungen der Branche noch am Anfang stehen, sind keine verlässlichen Informationen zum Energiepotenzial aus Obstbaumschnitt verfügbar.

Im Jahr 2002 erreichten die Obstanbauflächen für Baumobst 62.000 ha [BMVEL 2004], davon bildeten allein Apfelmulturen etwa die Hälfte. Angenommen, die Flächen sind mit

Gras bestanden und die Aufwuchsleistung liegt bei etwa 70 dt/ha Heuertrag, ergibt sich ein Potenzial von 434.000 t_{FM} Heumasse pro Jahr.

5.3 Darstellung der Viehwirtschaft

Reststoffe aus der Viehhaltung sind Flüssigmist (im Weiteren Gülle) und Festmist, die direkt oder nach einer Vergärung auf landwirtschaftlichen Flächen als Wirtschaftsdünger ausgebracht werden¹⁷.

In Deutschland fallen jährlich große Mengen Festmist und Gülle in der Tierhaltung an, die z.T. zu erheblichen Umweltbelastungen in Boden, Wasser und Luft führen. Da der Boden wichtige Funktionen als Filter-, Speicher- und Puffermedium inne hat und Bodenschadstoffe in die Nahrungsmittelkette eingeschleppt werden können, bestehen Umwelt- und Verbraucherschutzanforderungen in Bezug auf die Qualität und die Anwendung von Düngemitteln¹⁸, doch sind diese nicht Gegenstand der vorliegenden Studie. Hier wird ein Überblick bezogen auf den mengenbezogenen Stoffstrom Gülle gegeben, sowie über die damit verbundenen Mengen an Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor.

Gleichzeitig stellen die Tierexkremente eine Ressource als Wirtschaftsdünger und für die regenerative Energieerzeugung dar.

¹⁷ Tierkörper und Tierkörperteile stammen v. a. aus Schlachtbetrieben und fallen damit zu den industriellen Reststoffströmen (vergl. Kapitel 7.1).

¹⁸ Der Gesetzgeber hat die Umwelt- und Verbraucherschutzanforderungen in Bezug auf die Qualität und die Anwendung von Wirtschaftsdüngern mit dem DüngMG und der DüMV geregelt: Düngemittel dürfen bei sachgerechter Anwendung die Fruchtbarkeit des Bodens und die Gesundheit von Menschen und Haustieren nicht schädigen [DüMV §2(1)]. Ziel ist es, die versteckte Entsorgung problematischer Reststoffe in die Böden zu vermeiden, den Eintrag von Stoffen ohne Düngenutzen und Schadstoffen zu minimieren sowie die Beschaffenheit und Applikation von Düngemitteln in der Weise zu verbessern, dass der Nährstoffaustrag in Luft und Wasser reduziert wird [Bannik, 2002].

Ein weiterer Aspekt ist die Rückführung organischer Substanz in den Boden. In Biogasanlagen wird organischer Kohlenstoff zu einem erheblichen Anteil in Methan und Kohlendioxid umgewandelt und somit nicht auf den Boden ausgebracht. Literaturdaten zum Humusproduktionspotenzial verschiedener organischer Dünger [Körschens et al, 2005] geben bisher keinen Anhaltspunkt auf einen negativen Einfluss der Vergärung von Gülle auf das Humusbildungspotenzial.

5.3.1 Aktuelle Stoffströme: Viehwirtschaft

In diesem Kapitel werden zunächst die anfallenden Massen an Festmist und Gülle berechnet und mit Literaturdaten verglichen. Anschließend wird die derzeitige Nutzung dieser Stoffe dargestellt.

Anfallende Massen

Der Mist- und Gülleanfall hängt von der Tierart, dem Haltungsverfahren und dem Alter der Tiere ab. Im Rahmen des Projekts „Stoffstromanalyse der nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ wurden anhand von „Exkrementplänen“ für verschiedene Produktionssysteme in der Tierhaltung Berechnungen erstellt. Diese summieren den Anfall von Gülle und Mist über die gesamte Lebenszeit eines Tieres auf und berücksichtigen die Altersklassen im Tierbestand sowie die Verbreitung von Stallhaltung und Weidehaltung, sowie von Fest- und Flüssigmistsystemen auf Grundlage von Literaturangaben.

Das Modell HEKTOR/Augias ermittelt das Festmist- und Güllepotenzial und schließlich das Biogaspotenzial aus den „Exkrementplänen“ und den Tierzahlen für Rinder, Schweine und Geflügel, die innerhalb des Bezugjahres für die Nahrungsmittelproduktion in Deutschland gehalten werden (eine detaillierte Methodenbeschreibung ist unter [Öko-Institut 2004, Anhangsband] und [Simon et al. 2005] nachzulesen). Sofern nicht anders angegeben, beziehen sich die hier genannten Daten auf diese Arbeiten.

Das Modell erfasst nur die Exkremente von Mastrindern, Milchvieh, Schweinen und Geflügel. Schafe, Ziegen und Pferde tragen zum Festmistanfall bei, der hier extra erhoben wurde. Da bei diesen Tierarten die Weidehaltung dominiert, ist die Potenzialabschätzung mit großen Unsicherheiten behaftet. Aus diesen Randbedingungen ergibt sich das in Tabelle 5-5 dargestellte Festmist- und Gülleaufkommen.

Tabelle 5-5: Gülle- und Festmistaufkommen und ihre Gehalte im Jahr 2000 auf Basis [Öko-Institut 2004] aktualisiert nach [Simon 2006]

	1000 t Gülle/a	1000 t _{TM} Gülle	1000 t- C/a	1000 t- N/a	1000 t- P/a
Gülle	150.522	10.994	4.874	764	119
davon Rinder	116.320	8.724	3.839	581,6	81,1
davon Schweine	28.745	1.725	776	143,7	31,3
davon Hüh- ner/Geflügel	5.457	546	259	38	7
Festmist	32.108	8.760	2.552	248	69
davon Rinder	18.244	4.561	1.459	118,6	25,5
davon Schweine	4.144	1.036	423	28,2	15,4
davon Hüh- ner/Geflügel	1.552	698	334	52,8	18,3
Pferde	7.205	2.291	310	43,2	10,1
Schafe und Ziegen	964	174	26	4,8	
Summe-Tierbestand	182.629	19.755	7.425	1.011	188

Die Verteilung von Festmist- und Güllesystemen für Rinder und Schweine basiert auf Angaben von Döhler [2001], die auf eine Betriebserhebung aus dem Jahr 1999 zurückgehen. Seitdem hat keine Aktualisierung dieser Erhebung stattgefunden [Eurich-Menden 2006]. Jedoch hat das statistische Bundesamt im Jahr 2004 eine Erhebung für Milchvieh und Mastschweine durchgeführt, die zum Vergleich herangezogen werden kann. Hinsichtlich der Verteilung von Festmist und Gülle zeigen die modellierten Daten, welche die Grundlage dieser Studie bilden, eine ausreichend gute Übereinstimmung zu der genannten Statistik [Statistisches Bundesamt 2005a und 2005b]. Vergleiche dazu Tabelle 5-6.

Die Abweichungen beider Untersuchungen im Bezug auf die Rinder beruhen z. T. darauf, dass die Statistik nur Mastvieh abdeckt, während die modellierten Zahlen auch das Milchvieh umfassen.

Tabelle 5-6: Verteilung von Festmist- und Güllesystemen, Vergleich der Modelldaten mit der Statistik [Öko-Institut 2004] und [Stat. Bundesamt 2005 a und 2005b]

	Öko-Institut	Stat. Bundesamt
Festmist Rinder	14,0 %*	21,9 %**
Flüssigmist Rinder	86,0 %*	78,1 %**
Festmist Schweine	13,0 %	11,5 %
Flüssigmist Schweine	87,0 %	88,5 %
Festmist Geflügel	23,0 %	
Flüssigmist Geflügel	77,0 %	k.A.

* Milchvieh und Mastrinder **nur Mastrinder

Die hier ermittelten Gülle- und Festmistmengen liegen rund 20 % niedriger als die in den herangezogenen Vergleichsstudien, siehe Tabelle 5-7.

Tabelle 5-7: Vergleich der Daten zum Wirtschaftsdüngeranfall mit anderen Quellen; Angaben in Frischmasse (Quellen: Öko-Institut, 2004; Schwab/KTBL, 2004; Leible et al., 2003)

	Wirtschaftsdünger in 1.000 t_{FM}/a		
Gülle & Festmist	Öko-Institut	KTBL	Leible et al.
Rinder	134.563	120.800	170.800
Schweine	32.889	80.600	44.000
Geflügel	7.009	k.A.	2.800
Pferde	7.205	k.A.	5.000
Schafe und Ziegen	964	k.A.	1.300
Summe Gülle & Festmist	182.629	201.400	221.000
Abweichung Literatur und Öko-Institut	---	+ 20,2 %	+21,0 %

Die breiten Spannen für den Wirtschaftsdüngeranfall je nach Tierart und Stallsystem stellen für die Berechnung eine erhebliche Quelle der Ungenauigkeit dar. In der Realität treten zudem große Schwankungen aufgrund unterschiedlicher Strohgaben und Trockenmassegehalte der Wirtschaftsdünger auf. Nach Bergschmitt [2004] sind selbst direkte Datenerhebungen in den Betrieben mit so großen Unsicherheiten behaftet, dass unter Umständen eine Berechnung des Wirtschaftsdüngeraufkommens anhand der Tierbestände keine schlechteren Ergebnisse liefert. Die Abweichung der hier gewählten

Daten erklärt sich zudem auch aus den konservativen Annahmen im HEKTOR/Augias-Modell, um Überschätzung des Energiepotenzials aus Gülle zu vermeiden.

Angesichts der unsicheren Datenbasis wurden daher keine weiteren Anpassungen mehr vorgenommen, sondern die modellierten HEKTOR/Augias-Daten direkt für die weitere Betrachtung verwendet. Für die Zukunft wird für Deutschland von einem kleiner werdenden Tierbestand ausgegangen, wodurch sich das zukünftige Wirtschaftsdüngerpotenzial verringert [Öko-Institut 2004].

Derzeitige Nutzung

Derzeit werden Gülle und Festmist nur in wenigen Biogasanlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben vergoren. In der Vergangenheit galt das Interesse dabei vor allem der verbesserten Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe. Mit der Einführung des EEG im Jahr 2000 hat sich das Interesse jedoch deutlich zugunsten der Energieerzeugung verschoben (s. Anhang „Heutige Biogasgewinnung aus Gülle“). Angesichts der hohen Entwicklungsdynamik werden für die Biogasnutzung die Zahlen von 2005 herangezogen.

Die Masse der vergorenen Tierexkrementen wird nicht direkt von der Statistik erfasst, doch kann sie mit einigen bekannten Rahmendaten überschlägig ermittelt werden: Im Jahr 2005 wurden rund 3,2 Mrd. kWh Strom aus Biogas erzeugt (BMU, 2006). Etwa ein Viertel der Energie stammte aus Gülle. Je nach Rechenmethode¹⁹ werden derzeit zwischen 375 und 450 Mio. m³/a Biogas aus Tierexkrementen produziert. Das entspricht 15 bis 18 Mio. t/a an Gülle und Festmist. Damit werden aktuell 8,2 bis 9,8 % der in Deutschland anfallenden Gülle in einer Biogasanlage vergoren.

¹⁹ 375 Mio. m³ Biogas: für einen Heizwert von 6,5 kWh/m³ für Rohbiogas aus Gülle, einem elektrischen Wirkungsgrad von 33 % und einer Biogasbildung von 25 m³ pro Tonne Gülle. Für die zweite Angabe wurde ein anderer Rechenansatz gewählt.

Tabelle 5-8: Annahmen zur aktuellen Gülle- und Festmistnutzung (Bezugsjahr Biogasnutzung 2005, Bezugsjahr Tierexkrement 2000²⁰)

Stoffstrom	Einheit	min	max
Gülle- und Festmistanfall	1.000 t _{FM} /a	182.629	182.629
Stoffstrom in die Biogasanlage	1.000 t _{FM} /a	15.000	18.000
Anteil für die Biogasanlage	%	8,2 %	9,8 %
<i>Annahme:</i> Rückführung der Wirtschaftsdünger auf die Felder (unvergoren & Gärrest)	%	100 %	100 %

5.3.2 Potenzial: Viehwirtschaft

Das theoretische Festmist und Güllepotenzial entspricht dem gesamten anfallenden Substrat. Bei der Nutzung von Mist und Gülle gibt es auch Restriktionen: Sind die anfallenden Mengen zu gering und zu weit von einander entlegen, rentiert sich keine Anlage (was streng genommen das ökonomische Potenzial kennzeichnet). Um das Potenzial nicht zu überschätzen, werden für das technisch-ökologische Potenzial nur noch die Wirtschaftsdüngermengen ab einer bestimmten Betriebsgröße dargestellt (Rinder ab 50 Tiere, Schweine ab 100 Tiere).

Das Biogaspotenzial wird schließlich mit Hilfe substratspezifischer Gasausbeuten aus dem Potenzial an Gülle und Festmist ermittelt²¹.

²⁰ Die beiden verschiedenen Bezugsjahre beeinflussen das Ergebnis in vertretbarem Maß, da sich die Tierbestände nur gering verändert haben und zudem die Rohdatenqualität für die Tierexkreme schlech ist.

²¹ substratspezifische Gasausbeuten für Rindergülle: 26 m³/t_{FM}, Schweinegülle: 36 m³/t_{FM}, Geflügelgülle: 67 m³/t_{FM}, Festmist: 50 m³/t_{FM} [IE 2003a]

Tabelle 5-9: Potenzial Festmist und Gülle sowie das daraus resultierend Biogaspotenzial (Bezugsjahr Biogasnutzung 2005, Bezugsjahr Tierexkrementen 2000) (Quelle: Öko-Institut, 2004, aktualisiert nach Simon, 2006)

		Flüssigmist	Festmist
Theoretisches Potenzial (aus gesamten Bestand)	Mio. t _{FM}	150,52	32,11
Technisch-ökologisches Potenzial (Betriebe ab 50 GVE)	Mio. t _{FM}	143,44	22,88
Abzug: heutige Nutzung in Biogasanlagen (maximal)	Mio. t _{FM}	0	-18
nicht genutztes technisch- ökologisches Potenzial	Mio. t _{FM}	143,44	4,88
Summe			
Theoretisches Potenzial (in Trockenmasse)	Mio. t _{TM}	20.143	
Technisch-ökologisches Potenzial (in Trockenmasse)	Mio. t _{TM}	18,34	
nicht genutztes technisch- ökologisches Potenzial (in Trockenmasse)	Mio. t _{TM}	16,36	
	Mio. m ³	3,81	
	PJ	89,10	

5.4 Zusammenfassung und Überblick der einzelnen Teilsektoren

Die wichtigsten Biomassestoffströme aus der Landwirtschaft sind in Abbildung 5-2 im Überblick dargestellt. In dieser Abbildung werden die einzelnen Stoffströme zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit aggregiert. Zudem ließe sich eine detaillierte quantitative Darstellung der Stoffströme aus der Landwirtschaft, Futtermittel- und Ernährungsindustrie aus methodischen Gründen nicht lückenlos abbilden²², da

- die Stoffströme der Teilsektoren durch diverse Rückkopplungen und eine hohe Produktvielfalt gekennzeichnet sind und
- verschiedene Ausgangsprodukte zu neuen Folgeprodukten zusammengestellt werden, die keiner vollständigen statistischen Erfassung unterliegen.

Die Abbildung verdeutlicht, dass Produkte des Pflanzenbaus die größten Stoffströme bilden, die anschließend in die Tierhaltung bzw. die Weiterverarbeitung fließen. Die Erntereste entsprechen etwa einem Viertel der produzierten Masse an Feldfrüchten. Die Tierexkreme entsprechen der 4 bis 5-fachen Menge der tierischen Erzeugnisse.

²²Diese Einschätzung basiert insbesondere auf den Erfahrungen aus dem BMBF-Projekt „Ernährungswende“, in dem der Versuch unternommen wurde, die Verarbeitungswege verschiedener Landwirtschaftlicher Rohprodukte zu verfolgen, was eine aufwändige Modellierung und eine Vielzahl an Abschätzungen benötigt [Wiegmann et al. 2005]. Die Reststoffe und deren Schicksal wurden dabei nicht einmal erfasst.

(Mio t TM)

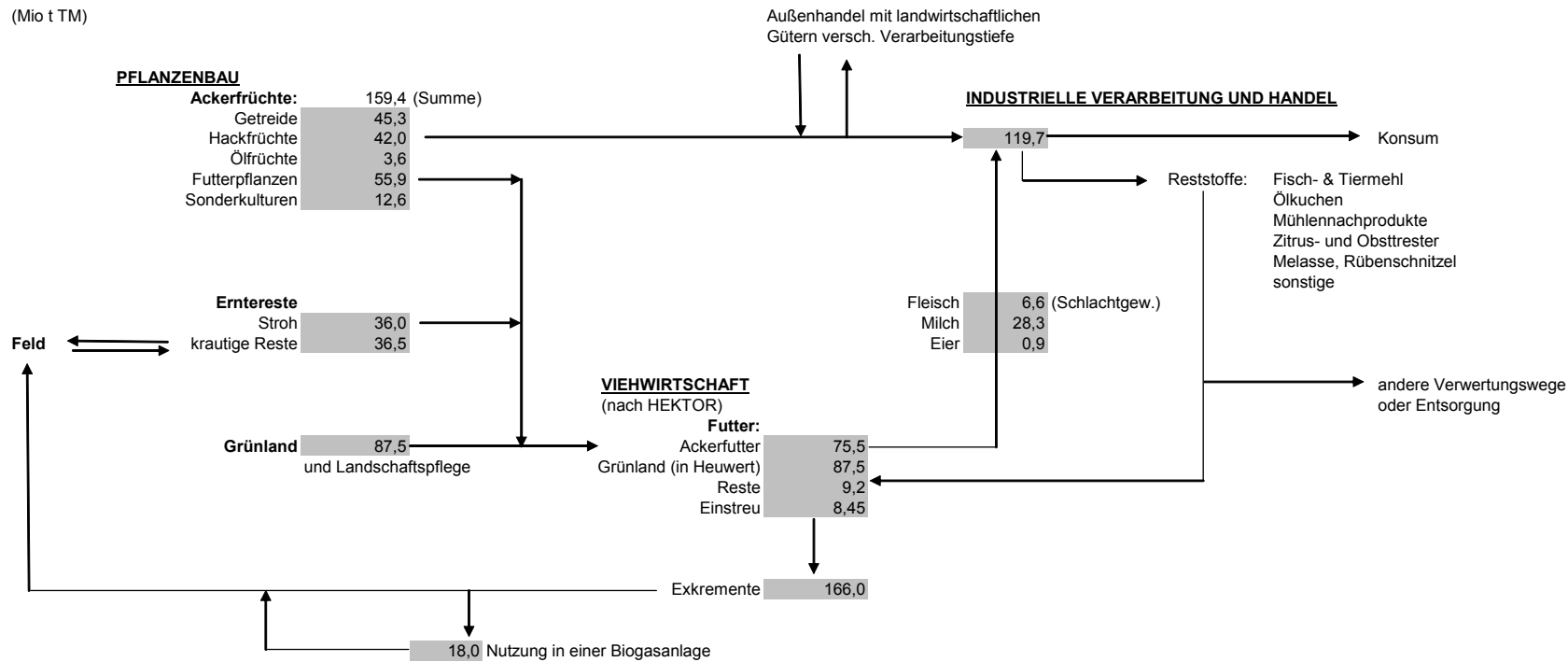


Abbildung 5-2: Überblick über die Produkte und die betrachteten Reststoffströme in der Landwirtschaft in 2000 (Angabe in Mio. t Trockenmasse) (nach eigenen Berechnungen auf Basis statistischer Daten: BMVEL, 2001)

5.5 Identifizierung relevanter Stoffströme aus der Landwirtschaft

Die Tierexkremente bilden den mengenmäßig bedeutsamsten Reststoffstrom in der Landwirtschaft, siehe Tabelle 5-10. Dies gilt insbesondere für das ungenutzte Potenzial. Bei den Ernteresten ist zwar das theoretische Potenzial von Stroh höher als das der anderen Erntereste, doch darf vom Stroh nur ein geringer Teil entnommen werden, um die Humusbilanz ausgeglichen zu halten. Die Nutzungsoptionen für Stroh (Verbrennung, Kraftstoffherstellung und Vergasung) erlauben keine Rückführung von organischer Substanz auf das Feld.

Tabelle 5-10: Zusammenstellung der ermittelten Potenziale in der Landwirtschaft im Jahr 2000 (Trocken- und Frischmassen) (eigene Berechnungen nach [Öko-Institut 2004])

Stoffstrom	Theoretisches Potenzial	Technisch-ökologisches Potenzial	Ungenutztes Potenzial
Trockenmasse	Mio. t_{TM}	Mio. t_{TM}	Mio. t_{TM}
Stroh	27,01	3,14	3,01
andere Erntereste	14,72	6,23	6,23
Tierexkremente	20,14	18,34	16,35
Frischmasse	Mio. t_{FM}	Mio. t_{FM}	Mio. t_{FM}
Stroh	36,01	4,19	4,01
andere Erntereste	24,94	8,23	8,23
Tierexkremente	182,63	166,32	148,31

Eine ausführliche Darstellung der einzelnen Massenströme, aufgegliedert in Trockenmasse, Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor, befindet sich im Anhang.

5.6 Ableitung von Szenarien für die Landwirtschaft

Angesichts des hohen ungenutzten Mist- und Güllepotenzials soll ein Szenario eine Optimierung dieses Stoffstroms betrachten. Bei den Ernteresten wird Stroh betrachtet, trotz des höheren ungenutzten technisch-ökologischen Potenzials der übrigen Erntereste. Die Reste der drei Kulturen Kartoffel, Zuckerrübe und Raps sind besonders für Biogasanlagen geeignet. Die Bilanzierung von Biogasanlagen wurde im Bereich der

Gülleverwertung bereits untersucht, deshalb wurde im Rahmen dieser Studie bei den Ackerresten das Beispiel Strohverbrennung gewählt.

Daher werden in diesem Kapitel Szenarien für die alternative Nutzung von Gülle und Stroh berechnet. Diese zwei Reststoffströme bieten angesichts ihrer Massenverfügbarkeit und bestehender Technologien für eine energetische Verwertung, ein nennenswertes Optimierungspotenzial aus Sicht der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen und des Klimaschutzes.

5.6.1 Szenario: Energetische Nutzung von Stroh

Die *stofflichen* Nutzungsoptionen von Stroh liegen vor allem im Bereich von Baustoffen zur Isolation. Hierfür kommen ganze Strohballen in Frage, aber auch andere Produkte wie Strohmatten oder gehäckseltes Stroh (das in Hohlräume eingeblasen wird). Nach FNR [2006] liegen die neueren Entwicklungen insbesondere im Bau von Strohballenhäusern¹. Inwiefern mit dieser Bauweise jedoch in nennenswerter Weise das ungenutzte Potenzial 3 Mio. t Stroh mobilisiert werden kann, ist fraglich². Die günstigen Effekte des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe im Baubereich zeigt das Szenario zur Mobilisierung von Waldrestholz (Kapitel 4.4.1). Hier sollten daher auch weiterhin technische Lösungen gefördert werden.

Für eine *Energienutzung* kann Stroh entweder als Festbrennstoff verbrannt werden oder zu Synthesegas (Strohvergasung) und Biokraftstoffen (BtL und Ethanol) konvertiert werden. Beide Konversionswege von Stroh zählen zu den Zukunftstechnologien, die etwa ab 2020 breite Anwendung finden könnten. Die Kraftstoffnutzung wird im Rahmen des BMU-geförderten Projekts „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030“³ neu bewertet.

Darum werden die Nutzungspfade für Stroh als Baustoff und Kraftstoff hier nicht betrachtet und die Rechnungen beschränken sich auf die beiden Optionen der

¹ Der Bau von Strohballenhäusern erfolgt nach traditioneller Bauweise, fast in der Art wie ein Fachwerkhäus (s. <http://www.fasba.de/>), was für einen verdichteten Geschossbau kaum in Frage kommen dürfte.

² Mit einer Ballendichte von 90-100 kg/m³ (Quelle), würde das ungenutzte Potenzial ein Dämmstoffvolumen von 30 Mio. m³/a ergeben – dies entspricht etwa dem derzeitigen jährlichen Gesamtdämmstoffvolumen im Bestand und Neubau in Deutschland [GDI 2005].

³ <http://www.renewbility.de/>

Mitverbrennung, nämlich Stroh im Kohlekraftwerk und Stroh-Synthesegas im GuD-Kraftwerk. Als Bezugszeitpunkt wird in den Strohszenarien das Jahr 2020 gewählt, da die Strohvergasung derzeit noch nicht im großtechnischen Maßstab als anwendungsreif angesehen werden kann.

Die derzeitige Nutzung beschränkt sich im Wesentlichen auf die Mitverbrennung von Stroh in Großkraftwerken, da die Strohverbrennung durch niedrige Ascheschmelzpunkte führt und daher einer sehr aufwändigen und teuren Prozesssteuerung bedarf. Zudem ist eine aufwändige Rauchgasreinigung erforderlich. Beides ist in dezentralen Anlagen nicht wirtschaftlich darstellbar. Eine technische Lösung könnte in der Herstellung von Mischpellets aus Holz und Stroh liegen (wodurch das Stroh quasi „verdünnt“ wird), doch macht diese Option die Logistik der Pellethersteller komplizierter. Zudem stammen Holzsägereste und Stroh oft aus unterschiedlichen Regionen (waldreiche bzw. ackerreiche Regionen).

Durch vorhandene Technik bei der Abgasreinigung in Großkraftwerken können die entsprechenden Grenzwerte dagegen ohne Mehrkosten eingehalten werden.

Entwicklung des Strohpotenzials und Nachfrage bis 2020

Für Kohlekraftwerke wird von einer Zufeuerung von 5 bis 10 % ausgegangen [Öko-Institut 2004]. In einer nach Bundesländern differenzierten Darstellung für Braun- und Steinkohlekraftwerke werden für das Bezugsjahr 2000 Kapazitäten von knapp 200 PJ/a in deutschen Kraftwerken ausgewiesen [IE 2003b], das Angebot liegt dagegen bei 58,6 PJ/a im selben Zeitraum, das entspricht einer Menge von 4,2 Mio. t_{FM} Stroh pro Jahr (technisch-ökologisches Potenzial).

Ausgehend von Prognosen für die Bruttostromproduktion aus Braun- und Steinkohle für das **Jahr 2020**, ergibt sich für die Mitverbrennung eine mögliche Nachfrage von 100 PJ/a (eigene Berechnungen nach [EWI/Prognos 2005]). Bis dahin wird sich aufgrund veränderter Anbauflächen das Strohangebot gegenüber heute leicht erhöhen und liegt nach Szenariorechnungen⁴ im Jahr 2020 bei 61 bis 74 PJ/a (entspricht einer Menge von 4,3 Mio. bis 5,3 Mio. t Stroh pro Jahr) [Öko-Institut 2004]. Mit den zusätzlichen Mitverbrennungskapazitäten in GuD-Kraftwerken kann also davon ausgegangen werden, dass es möglich ist, das gesamte Potenzial zu verwenden.

Für die weiteren Rechnungen wird der untere Wert von 61 PJ/a (4,3 Mio. t/a) verwendet, der auch nahezu dem Potenzial aus dem Jahr 2000 entspricht (4,2 Mio. t/a).

5.6.1.1 Szenarioaufbau und Systemgrenzen

Die bilanzierten Stoffströme in den Szenarien umfassen die Bergung des Strohs sowie notwendige Konversionsschritte für den Brennstoff (wie etwa Trocknung oder die Strohvergasung im Falle der Mitverbrennung im GuD-Kraftwerk). Die Untersuchung betrachtet ebenso den Bau und Betrieb der Kraftwerke. Als Vergleichsprozess dient jeweils die äquivalente Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern (Kohle und Erdgas).

Die Systemgrenzen der Szenariorechnung sind in Abbildung 5-3 dargestellt.

⁴ In dem Projekt „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetische Nutzung von Biomasse [Öko, 2004] wurden verschiedene Szenarien für mögliche Biomassenutzungen betrachtet:

(1.) Das **Referenzszenario** unterstellt eine ungestörte Fortschreibung ohne zusätzliche Aktivitäten zur Förderung von Bioenergie. Für die Landwirtschaft wird ein moderater Ausbau der ökologischen Landwirtschaft angenommen.

(2.) Das **Biomasseszenario** unterstellt dagegen die massive Förderung der Bereitstellung und Nutzung erneuerbarer Energien dar. Die Potenzialangaben sind Obergrenzen ohne weitergehende Naturschutzrestriktionen. Für die Landwirtschaft wird der Ausbau der ökologischen Landwirtschaft auf 30 % angenommen.

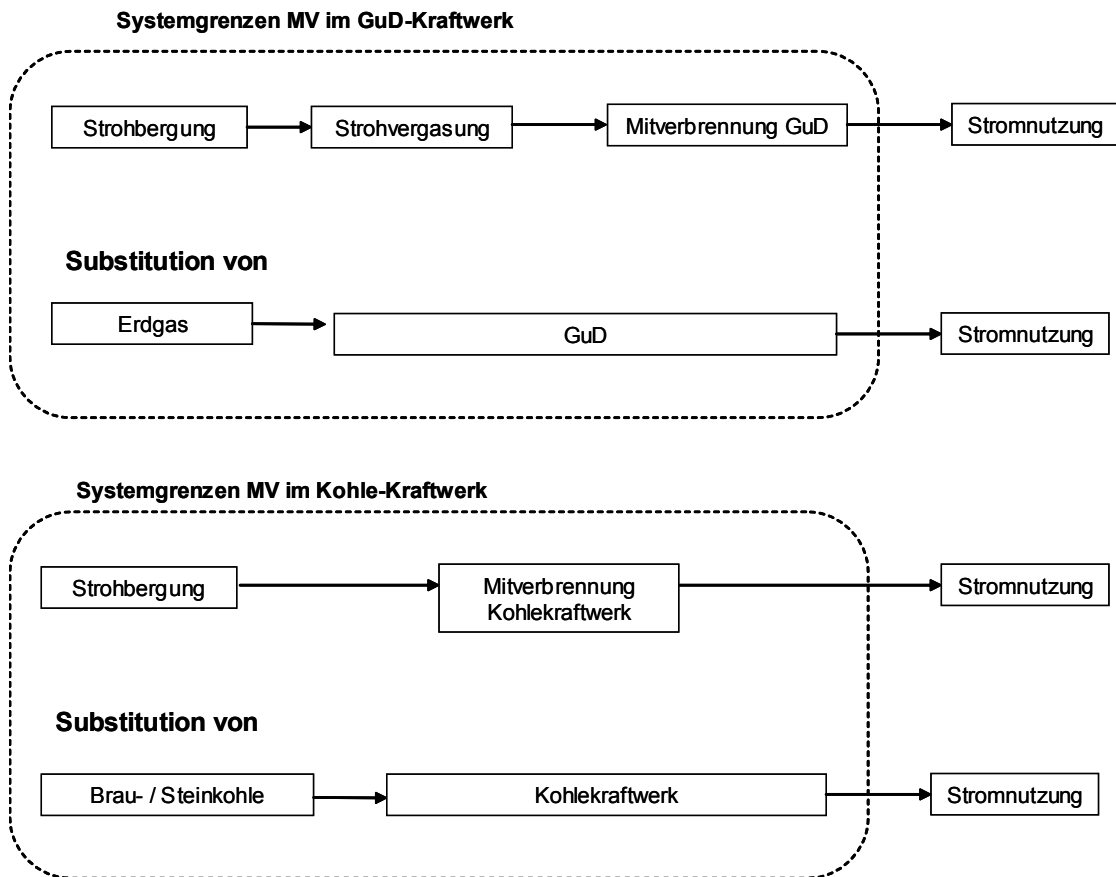


Abbildung 5-3: Systemgrenzen der Betrachtung für Strohnutzung

Die Szenarien basieren auf folgenden Annahmen:

- Das für das Referenzszenario im Jahr 2020 berechnete, verfügbare technisch-ökologische Stropotenzial von 4,3 t/a in Deutschland wird nahezu vollständig (90 %) für die Mitverbrennung in vorhandenen Großkraftwerken (Braunkohle/Steinkohle bzw. GuD) mobilisiert. Da Stroh bisher nur in Einzelfällen zur energetischen Verwertung genutzt wird, führt dies zu einer Vervielfachung gegenüber heute. Eine gekoppelte Wärmenutzung ist nicht enthalten. Die notwendigen Aufwendungen und entstehende Emissionen in die Atmosphäre sind *zusätzliche Umweltbelastungen* (siehe Balken „Belastung Strohnutzung“ in den Ergebnisgrafiken - Abb. 5-4ff).

- Die stoffliche Nutzung von Stroh als Bodenverbesserer und für die Stalleinstreu bleibt unangetastet, lediglich überschüssige Mengen werden für die energetische Nutzung mobilisiert (Annahmen s. [Öko-Institut 2004]).
- Es wird angenommen, dass die energetische Strohnutzung jeweils den fossilen Energieträger im eigenen Kraftwerk verdrängt, d.h. jedes Joule aus dem Heizwert von Stroh substituiert ein Joule Kohle bzw. Erdgas (Heizwert). Dieser Umweltentlastungseffekt wird dem Prozess gutgeschrieben (siehe Balken „Entlastung Strohnutzung“ in den Ergebnisgrafiken - Abb. 5-4ff).
- Das Szenario geht nicht davon aus, dass Stroh in reinen Strohkraftwerken verbrannt wird. Diese Option wurde außer Acht gelassen, da hierfür zunächst betrachtet werden müsste, in welchen Regionen das Strohpotenzial unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für einen Ganzjahresbetrieb eines großen Strohkraftwerks ausreichend vorhanden ist.

5.6.1.2 Ergebnisse der Szenariorechnung

Das Ergebnis der Szenariorechnung ist deutlich von der Wahl des Äquivalenzprozesses geprägt: Geht man davon aus, dass bei einer Mitverbrennung im Kohlekraftwerk Kohle verdrängt wird, fällt die Bilanz günstiger aus, da Strom aus Kohlekraftwerken mit höheren spezifischen Emissionen verbunden ist als Strom aus einem GuD-Kraftwerk (vergleiche Abbildung 5-4 und Abbildung 5-6). Weiterhin hat die Energieausbeute des Brennstoffes beider Prozesse einen maßgeblichen Einfluss. Der Energieaufwand für die Strohvergasung kann nicht durch den besseren Wirkungsgrad des GuD-Kraftwerks kompensiert werden.

Wird jeweils der durch die Strohmitverbrennung substituierte fossile Brennstoff gutgeschrieben, so könnten bei Nutzung des Strohpotenzials (90 % Mobilisierung) durch Mitverbrennung im Kohlekraftwerk 6,1 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr eingespart werden. Die Nutzung des Potenzials (2020) im GuD-Kraftwerk würde im Jahr 2020 2,6 Mio. t/a CO₂-Äquivalente einsparen.

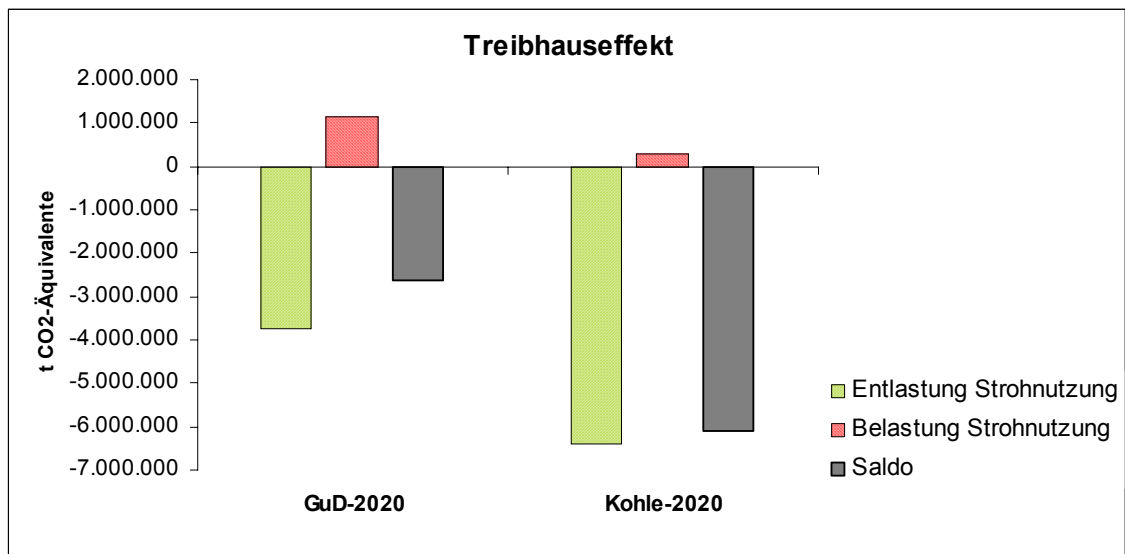


Abbildung 5-4: Jährliche Emissionen an Treibhausgasen bei der Stromproduktion aus Stroh in verschiedenen Kraftwerken [GEMIS 2005]

Über den Indikator Rohöläquivalente wird neben dem Energieinhalt der verbrauchten fossilen Energieträger auch deren Reichweite berücksichtigt. Entsprechend der Begrenztheit wird bei den Rohöläquivalenten der Verbrauch an Erdöl und Erdgas höher gewichtet. Da bei der Mitverbrennung von Stroh-Synthesegas im GuD-Kraftwerk Erdgas substituiert wird, fällt die Gutschrift deutlich besser aus als bei der Mitverbrennung von Stroh als Festbrennstoff im Kohlekraftwerk. Dies liegt an der geringeren Reichweite von Erdgas gegenüber Kohle.

Für die Mitverbrennung im GuD-Kraftwerk liegt die Gutschrift bei 568.686 t ROE (Rohöläquivalent) und bei der Mitverbrennung im Kohlekraftwerk liegt die Gutschrift bei 353.083 t ROE/a.

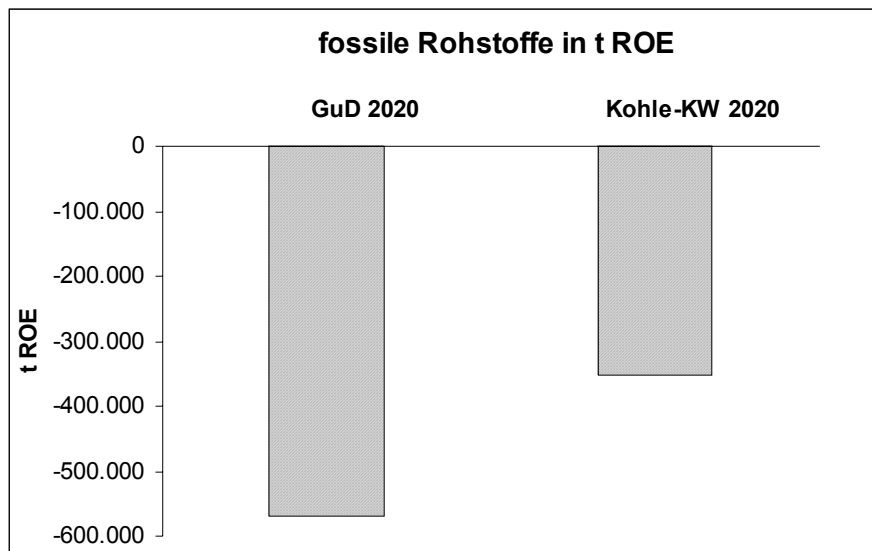


Abbildung 5-5: Jährliche Substitution fossiler Rohstoffe in den Szenarien für Stroh [GEMIS 2005]

Anmerkung: Die Szenarien der Strohnutzung sind mit GEMIS gerechnet, das keine ROE ausweist. Auf eine differenzierte Darstellung der Be- und Entlastungen musste für diese Wirkungskategorie aus Gründen der verwendeten Software verzichtet werden.

Beim Einsatz in einem Kohlekraftwerk würden die Emission versauernd wirkender Luftschadstoffe um rund 2,3 Mio. t SO₂-Äquivalente pro Jahr gegenüber der Verwendung von Braun- und Steinkohle sinken. Bei der Mitverbrennung im GuD-Kraftwerk würden dagegen die SO₂-Äquivalente um 2,3 Mio. t/a gegenüber der Nutzung von Erdgas ansteigen.

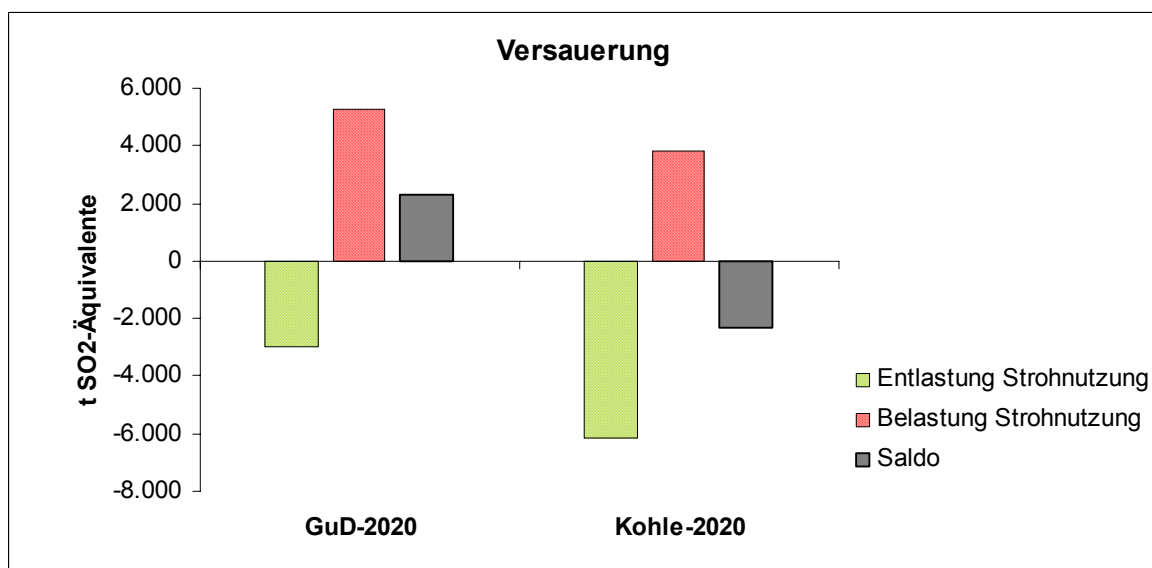


Abbildung 5-6: Jährliche Emissionen versauernd wirkender Luftschadstoffe bei der Stromproduktion aus Stroh in verschiedenen Kraftwerken [GEMIS 2005]

Angesichts höherer Stickoxidemissionen der Strohgasverbrennung gegenüber Erdgas und Kohle, würde die terrestrische Eutrophierung beim Stroeinsatz in beiden Kraftwerkstypen zunehmen. Beim Einsatz in Kohlekraftwerken liegt die Emission von P_2O_4 -Äquivalenten um 189 t/a höher als bei Kohle, im GuD-Kraftwerk liegen die Emissionen sogar um 339 t/a P_2O_4 -Äquivalente höher.

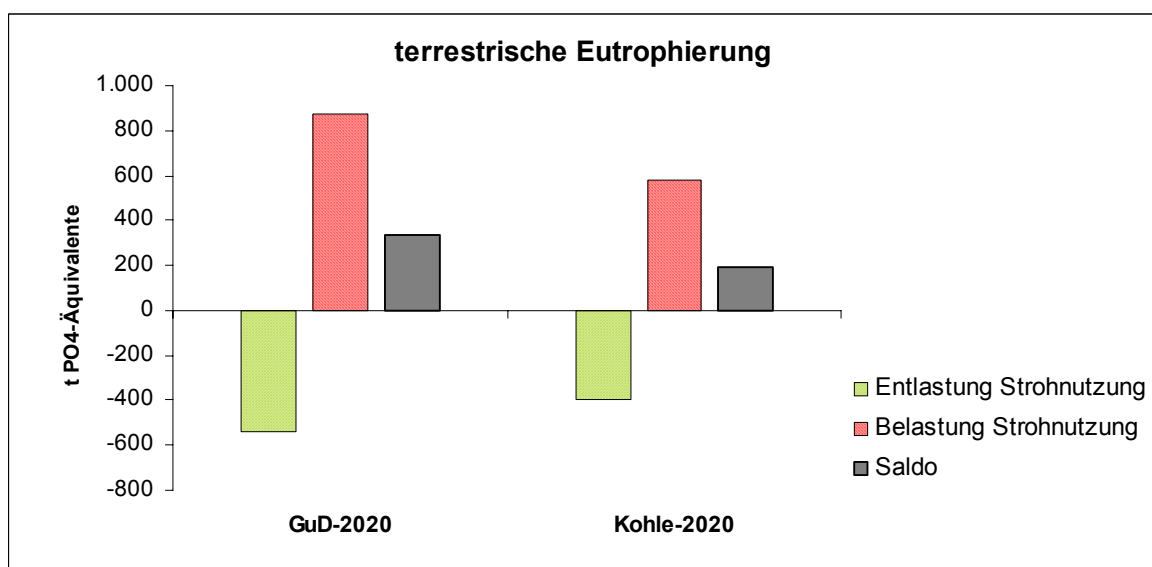


Abbildung 5-7: Jährliche Emissionen eutrophierend wirkender Luftschadstoffe bei der Stromproduktion aus Stroh in verschiedenen Kraftwerken [GEMIS 2005]

5.6.1.3 Schlussfolgerung für die energetische Nutzung von Stroh

Die Mitverbrennung von Stroh im Kohlekraftwerk bringt eindeutige ökologische Vorteile, wenn damit die Substitution von Kohle einhergeht. Dennoch nimmt bei diesem Nutzungspfad die terrestrische Eutrophierung zu. Bei der Mitverbrennung von Synthesegas aus Stroh im GuD-Kraftwerk steigen auch die versauernd wirkenden Emissionen gegenüber dem Erdgaseinsatz an. Hinsichtlich der Inanspruchnahme von Ressourcen fällt der Substitutionseffekt für Erdgas infolge der geringeren Reichweite positiver aus als für Kohle.

Zur besseren Einordnung der Ergebnisse werden die resultierenden Umweltbe- und -entlastungen auf die Gesamtbelastungen in Deutschland bezogen. Da diese für das Jahr 2020 nicht vorliegen, wird ein Vergleich mit aktuellen (Jahr 2003) Gesamtbelastungen vorgenommen.

Die Maßnahme Mitverbrennung von Stroh zeigt für die Wirkungskategorien Treibhaus-effekt und Ressourcenverbrauch den größten Einfluss auf die Gesamtbelastungen in Deutschland. Durch die Mitverbrennung von Stroh können 0,254 % bzw. 0,615 % sämtlicher Treibhausgasemissionen eingespart werden. Das nationale Minderungsziel⁵ kann allein durch die beiden Varianten der Strohmitverbrennung zu 1,028 % bzw. 2,385 % erfüllt werden. Bei den Ressourcen liegt der Minderungsbeitrag zwischen 0,32 % und 0,2 % vom Gesamtverbrauch.

Für die beiden anderen Wirkungskategorien ist der relative Beitrag um den Faktor 10 geringer. Für die Versauerung und die Eutrophierung liegt der Beitrag an den Gesamtemissionen jeweils unter 0,1 % (siehe Tabelle 5-11, positive Zahlen = Nettobelastung, negative Zahlen = Nettoentlastung).

Tabelle 5-11: Relativer Beitrag der Strohmitverbrennung an den Gesamtbelastungen für einzelne Wirkungskategorien in Deutschland (eigene Berechnung)

	Treibhaus-effekt	Einsatz fossiler Ressourcen	Versauerung	Eutrophierung
MV GuD an BRD-ges.	-0,265 %	-0,319 %	0,067 %	0,035 %
MV Kohle an BRD-ges.	-0,615 %	-0,198 %	-0,068 %	0,019 %

⁵ 21% der Treibhausgasemissionen von 1990

Für eine abschließende Empfehlung muss berücksichtigt werden, dass weitere Nutzungsoptionen, wie die Nutzung als Dämm/Baustoff oder die Konversion zu Kraftstoff nicht betrachtet wurden. Die Kraftstoffherstellung aus Getreide und Stroh weist noch Entwicklungsbedarf zur Reduzierung des derzeit erheblichen Verfahrensaufwands auf. Da es nicht viele Alternativen zu fossilen Kraftstoffen gibt und vor dem Hintergrund der Verbrauchsprognosen stellt dies jedoch eine ökologisch und ökonomisch sehr wichtige und interessante Option dar, die bei guten Entwicklungsergebnissen vorrangig verfolgt werden sollte.

Da Stroh als trockener und energiereicher Ernterest mit hohem Potenzial und bereits vorhandener Erntetechnik einfach geborgen werden kann, sollte in jedem Fall eine umfangreiche Strohnutzung angestrebt werden. Ökologische Erfordernisse, insbesondere der Humuswirtschaft dürfen dabei aber nicht außer Acht gelassen werden.

5.6.2 Szenario: Energetische Nutzung von Gülle

In Deutschland fallen jährlich große Mengen Festmist und Gülle (rund 200 Mio t) in der Tierhaltung an, die zu Umweltbelastungen in Boden, Wasser und Luft führen können. Gleichzeitig stellen die Tierexkremente eine Ressource als Wirtschaftsdünger und für die regenerative Energieerzeugung dar, die genutzt werden sollte. In diesem Themenschwerpunkt wird untersucht, in welchem Umfang Umweltentlastungen durch eine verstärkte Vergärung von Gülle mit anschließender Biogasnutzung erreicht werden können.

Entwicklung des Güllepotenzials und dessen Mobilisierung bis 2020

Wie bereits in Kapitel 5.3.1 dargestellt, werden derzeit etwa 10 % des Potenzials an Gülle und Festmist in Biogasanlagen vergoren. Kurzfristig kann keine vollständige Potenzialausnutzung erreicht werden, weshalb für eine Beurteilung der möglichen Umweltentlastungseffekte auch die mittelfristige Entwicklung des Potenzials betrachtet werden muss. Hier sind zwei Aspekte von Bedeutung

1. Die **Erfassungsquote**, die von der Mindestmenge an Mist bzw. Gülle zum wirtschaftlichen Betrieb einer Biogasanlage abhängt:
Es wird davon ausgegangen, dass Wirtschaftsdünger ab einer Betriebsgröße von etwa 50 Großvieheinheiten (GVE) für die Vergärung mobilisierbar ist, da

durch den Einsatz von Co-Fermenten und durch die Technologie der Trockenfermentation auch geringere Festmist- und Güllemengen zum wirtschaftlichen Betrieb ausreichen können.

Die hier genannten Biogaspotenziale beziehen sich ausschließlich auf die Tierexkremente aus der Landwirtschaft, der Beitrag von Kosubstraten wird nicht berücksichtigt.

2. Der **Tierbestand** in Deutschland:

Es wird davon ausgegangen, dass der Viehbestand in Deutschland (Tierzahlen und Betriebsgröße) bis ins Jahr 2020 um 12 % gegenüber heute abnehmen wird ([Öko-Institut 2004] – überarbeitet nach [Simon 2006]). Das entspricht einer Abnahme von derzeit jährlich 4,23 Mrd. m³ Biogas auf 3,76 Mrd. m³ im Jahr 2020 (Details s. Anhang „Biogaspotenzial und dessen Mobilisierung bis 2020“).

5.6.2.1 Szenarioaufbau und Systemgrenzen

Vergorene Gülle wird wie unbehandelte Gülle als Wirtschaftsdünger verwendet, insofern wird nur der Prozess der Biogasproduktion zwischen die Lagerung und Ausbringung geschaltet. Die Gülle muss daher nicht durch alternative Stoffströme substituiert werden.

Die Tierhaltung setzt verschiedene umwelt- und klimarelevante Gase frei (insbesondere Methan, Ammoniak und Lachgas). Neben den direkten stoffwechselbedingten Emissionen stammt ein großer Teil aus den Exkrementen, die im Stall, bei der Güllelagerung und bei der Ausbringung der Gülle entsteht. Für die Betrachtung der Auswirkungen durch die Güllevergärung, sind die fütterungsbedingten Einflüsse von nachrangiger Bedeutung⁶ für die Emissionsbilanz. Wesentliche Unterschiede in der Bilanzierung entstehen ab der Güllelagerung und -ausbringung, darum setzt diese Untersuchung erst ab diesem Schritt an.

⁶ Zwar ist es möglich durch die Rationsgestaltung die gasförmigen Emissionen aus der Tierhaltung zu mindern, doch welchen Einfluss diese Maßnahme auf die Biogasnutzung hat, ist hier nicht näher untersucht worden. Ob eine Güllevergärung zu Biogas stattfindet oder nicht, ist für eine Bilanz der Reststoffnutzung viel einflussreicher.

Bei der Lagerung und Ausbringung müssen veränderte gasförmige Emissionen beachtet werden und für die energetische Nutzung von Biogas wird von einer Substitution fossiler Energieträger ausgegangen.

Die Untersuchung betrachtet sowohl Lagerung und Ausbringung der Gärreste als auch die Option der Energienutzung in einem Blockheizkraftwerk. Außerdem wird auch die Einspeisung ins Erdgasnetz berücksichtigt. Die Gülle geht als vorleistungsfreier Reststoff in das System hinein, die Stoffströme aus der Tierhaltung (wie Futter, Energieverbrauch im Stall) sind nicht Bestandteil der Untersuchung, da die Tierhaltung der Ernährung dient. Von allen betrachteten Schritten werden die Emissionen in die Atmosphäre erfasst (Treibhausgase, versauernd wirkende Gase und terrestrische Eutrophierung). Einen Überblick über die Systemgrenzen vermittelt Abbildung 5-8.

Die Daten beziehen sich ausschließlich auf Deutschland und repräsentieren statistische Mittelwerte. Für die Darstellung der derzeitigen Biogasnutzung beziehen sich die landwirtschaftlichen Rahmendaten auf das Jahr 2000 [Öko-Institut 2004]. Die Daten zur Biogasnutzung selbst stammen aus dem Zeitraum von 2003 bis Mai 2005 [IE 2005]⁷.

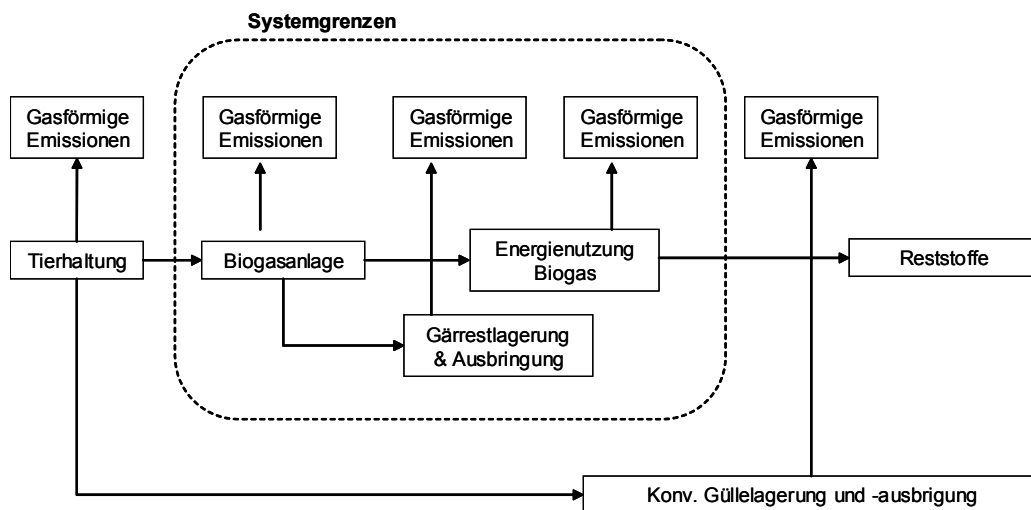


Abbildung 5-8: Darstellung der Systemgrenzen für die Analyse der Gülle-Stoffströme

⁷ Am Ende der Bearbeitung ist der zweite Zwischenbericht des Biomassemonitorings veröffentlicht worden (IE, 2006), dessen Ergebnisse in den Rechnungen nicht mehr einfließen konnten. Das hat nur Auswirkungen auf die Aussagen für die derzeitige Biomassenutzung, da sich die Stromgewinnung aus Biogas durch geänderte Förderungsbedingungen innerhalb eines Jahres verdoppelt hat.

Die Szenarien variieren nur zwei Optionen:

- Die Mobilisierung des Substrats
Je stärker sich der Nawaro-Einsatz in Biogasanlagen durchsetzt, desto mehr wird auch die Gülle kleinerer Tierbestände mobilisiert.
- Die Steigerung der Effizienz der energetischen Biogasnutzung
Die Effizienz hängt wesentlich von der Nutzung der Koppelwärme ab. Mit der Schaffung lokaler Wärmenetze und der Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz steigt der Anteil der Wärmenutzung und damit die Primärenergieeffizienz.

Im Folgenden werden einzelnen Szenarien und deren Annahmen beschrieben. Hierfür sind in Tabelle 5-12 die Annahmen zur Erfassungsquote und der Wärmenutzung bzw. der KWK-Anteil aufgeführt. Jedem Szenario wurde dabei ein Mix an Biogasanlagen⁸ hinterlegt.

Tabelle 5-12: Überblick über die wichtigsten Szenarioannahmen

Szenario	Erfassungsquote	Zusätzliche Wärmenutzung/ Gaseinspeisung	KWK (el : th)
2020-65 %	65 %	Nein	Bestand 1:1 Zubau 1:1
2020-80 %	80 %	Nein	Bestand 1:1 Zubau 1:1
2020-80 % mit Einspeisung	80 %	Ja, für Biogas aus großen Anlagen (1500m ³)	Bestand 1:1 Zubau 1:1 Einspeisung: 1:1,5 (für 500kW) 1:1,25(für 1000kW)

⁸ Hier wird ein Szenario beschrieben, das auf vielen Annahmen beruht. Um die Wirkung der einzelnen Annahmen sichtbar zu machen, befindet sich im Anhang ein Technologievergleich verschiedener BHKWs (Leistung, KWK-Quote), siehe Anhang.

Tabelle 5-13: angesetztter Anlagen-Mix der Biogasanlagen in den einzelnen Szenarien

	Bestand	Zubau		
	Strom 2005	2020-65 %	2020-80 %	2020-80 % +Einspeisung
50 kW-el	7 %	---	---	---
200 kW-el	33 %	50 %	50 %	50 %
500 kW-el	33 %	25 %	25 %	25 %
1000 kW-el	26 %	25 %	25 %	25 %
Summe	100 %	100 %	100 %	100 %

Für die Darstellung der Biogasanlagen sind folgende weitere Annahmen getroffen worden:

- Gutschriften für vermiedene Nutzung fossiler Energien
Für die Wärmenutzung aus der Kraftwärme-Kopplung erfolgt in dem Szenario eine Wärmegutschrift für eine dezentrale Gasheizung. Als Referenztechnologie für die elektrische Energie dient in den Szenarien der deutsche Strommix (Datenbasis [GEMIS 2005])
- Variation der Wärmenutzung
Da die Gülle in ländlichen Regionen anfällt, fehlt bei vielen Biogasanlagen eine ausreichende Nachfrage für die anfallende Wärme. Durch die Einspeisung von Biogas in das Gasnetz wird hier angenommen, dass die Wärmenutzung und damit der Gesamtwirkungsgrad der Nutzung gesteigert werden kann (s. Zeile „Wärmegutschriften“ in Tabelle 5-14).
- Transportdistanzen zwischen Gülleanfall und Biogasanlage
Es sind je nach Anlagengröße einfache Transportentfernungen von 3 bis 10 km Länge angenommen worden.

Die folgende Tabelle zeigt noch einmal die Annahmen über die technischen Parameter der einzelnen Biogasanlagen.

Tabelle 5-14: Überblick über die technischen Parameter der einzelnen Biogasanlagen

	50kW	200kW	500kW	1000kW	500kW	1000kW
					+ Einspeisung	
Transportdistanzen für Gülle (einfach)	3 km	3 km	10 km	10 km	10 km	10 km
Input in Fermenter	Gülle (50 % Rind & Schwein), Zuckerrüben- & Kartoffelblatt					
El. WG 2000	27 %	30 %	33 %	35 %	---	---
El. WG 2020	---	34 %	37 %	39 %	37 %	39 %
Wärmegutschrift elektrisch:thermisch	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1,5	1:1,2
Gutschriftsprozess	Erdgasheizung					
Sonstiges	Keine weiteren Gutschriften Keine Gärrestaufbereitung					

Schließlich folgen noch zwei landwirtschaftsbezogene Annahmen:

1. Veränderte Emissionen bei Lagerung und Ausbringung nicht beachtet

Es ist nicht einfach, eine quantitative Aussage für veränderte gasförmige Emissionen (insbesondere Methan, Lachgas und Ammoniak) durch die Güllevergärung gegenüber unvergorener Gülle zu treffen⁹. Dies liegt in den chemischen Reaktionen begründet, die von diversen Parametern abhängen, die Klima, Boden, Ausbringungs- und Lagertechnik betreffen (s. Anhang „Beschreibung der Prozesskette“). Verbindliche technische Standards fehlen diesbezüglich. Daher ist die Datenlage vage und es erfolgt keine Berücksichtigung der Lagerung und Ausbringung. .

Eine Variante mit Gutschrift ist im Technologievergleich (s. Anhang) gerechnet worden. Unumstritten ist jedoch der positive Effekt abgeschlossener Gärrestelager auf den Treibhauseffekt. Diese finden daher in der Bilanz Berücksichtigung (Details siehe ebenfalls im Anhang).

- Keine Düngergutschrift

Da unbekannt ist, ob die Betriebe durch die Vergärung der Gülle tatsächlich auf Mineraldünger verzichten, wird keine Gutschrift für die verbesserte Nährstoffver-

⁹ Pauschal kann jedoch angemerkt werden, dass die Methanemissionen durch die Vergärung sinken, die Ammoniakemissionen steigen und die Lachgasemissionen im besten Fall auf gleichem Niveau bleiben. Eine Detaillierte Ausführung hierzu befindet sich im Anhang „Beschreibung der Prozesskette“

ffügbarkeit gegenüber unvergorener Gülle gewährt (s. Anhang „Beschreibung der Prozesskette“).

5.6.2.2 Ergebnisse der Szenariorechnung

Die Szenarioergebnisse zeigen die größten Unterschiede in Bezug auf die Mobilisierung des Biogaspotenzials: Für das Szenario mit einer 80 %-igen Ausnutzung des gesamten Biogaspotenzials werden am meisten Treibhausgasemissionen eingespart.

Abbildung 5-9 zeigt, dass bereits heute durch den Einsatz von Biogas knapp eine Million Tonnen CO₂-Äquivalente/a eingespart werden. Durch eine gesteigerte zukünftige Nutzung könnte dieser Wert im Szenario mit Biogaseinspeisung im Jahr 2020 auf 5,8 Mio. t/a gesteigert werden. Dieses Szenario bewirkt die höchste Reduktion – vorausgesetzt, der KWK-Anteil steigt von 1 kWh Wärme pro Kilowattstunde Strom auf durchschnittlich 1,4 kWh.

Sollte dagegen die derzeitige KWK-Quote bei einem Ausbau der Biogasnutzung nicht gehalten werden können (Szenario 2020-80 % = Einspeisung), würden eine halbe Million Tonnen weniger CO₂-Äquivalente eingespart werden.

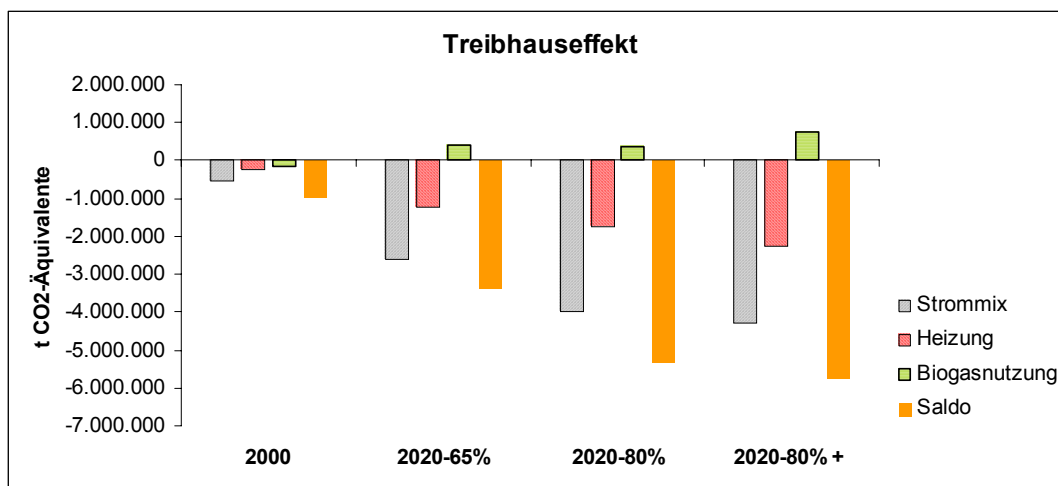


Abbildung 5-9: Jährliche Emissionen von Treibhausgasen in den einzelnen Szenarien

Bei allen Biogasszenarien wird eine Stromgutschrift (deutscher Strommix-2020) angerechnet. Das heißt die Substitutionsprozesse sind für alle Prozesse gleich, lediglich die substituierte Energiemenge variiert. Daher steigt die Ressourceneinsparung mit zunehmender Potenzialerschließung und mit zunehmender KWK-Quote. Entsprechend liegt beim Szenario mit einer Potenzialerschließung von 80 % und Erdgaseinspeisung das höchste Einsparpotenzial mit gut einer halben Million Tonnen Rohöläquivalenten pro Jahr.

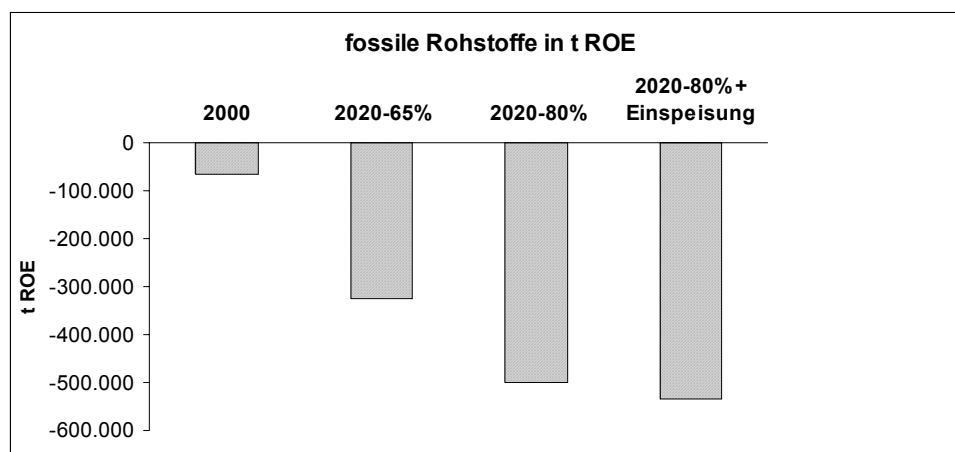


Abbildung 5-10: Jährliche Inanspruchnahme fossiler Rohstoffe in den Szenarien für Gülle¹⁰

Im Gegensatz zu den Treibhausgasen steigen die versauernd wirkenden Emissionen mit zunehmender Biogasnutzung (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dies liegt v. a. an den steigenden Ammoniakemissionen bei der Gülleausbringung (siehe Anhang „Technologievergleich“) und an den stärkeren Emission von Stickoxiden in den dezentralen BHKWs im Gegensatz zum Netzstrom und Erdgasheizung. Die gegenwärtige Nutzung von Biogas führt zu einem Emissionsanstieg um 232 t SO₂-Äquivalente pro Jahr gegenüber dem Vergleichsfall mit Netzstrom und Erdgasheizung. Das entspricht einem Anstieg um den Faktor 1,6.

In den Szenarien für 2020 steigt die Differenz der Emissionen auf Grund der gestiegenen Biogasnutzung (+ 865 t/a). Doch während sich die erzeugte Energie versechsfacht, steigen die Emissionen nur um das Vierfache an (für 65 % Potenzialerschließung). Der Rückgang der spezifischen Emissionen liegt darin begründet, dass bis ins Jahr 2020

¹⁰ Anmerkung: Auf eine differenzierte Darstellung der Be- und Entlastungen wurde für diese Wirkungskategorie aus Gründen der verwendeten Software verzichtet.

standardmäßig von einer geschlossenen Gärrestlagerung ausgegangen wird, was die Ammoniakemissionen reduziert und gleichzeitig zu einer höheren Gasausbeute führt.

Das Optimum (geringste spezifische Emissionen) auch für die Wirkungskategorie Versauerung ist der Fall mit der Einspeisung in das Erdgasnetz. Hier gilt es daher abzuwägen zwischen einerseits größeren Einheiten mit einer effizienten Entstickung und andererseits dezentraler Nutzung zugunsten einer hohen Wärmenutzung im KWK-Betrieb.

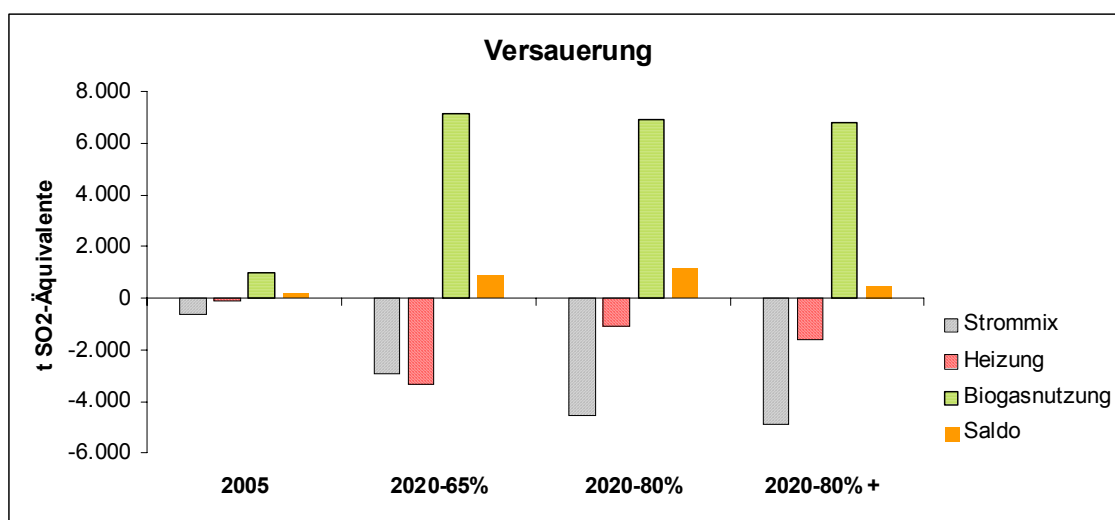


Abbildung 5-11: Jährliche Emissionen versauernd wirkender Emissionen in den einzelnen Szenarien

Durch die verstärkte Nutzung von Biogas verhält sich die Entwicklung der eutrophierend wirkenden Emissionen ähnlich wie die der versauernd wirkenden, da die terrestrische Eutrophierung auf die Emission von Ammoniak und Stickoxiden zurückgeht.

Derzeit werden durch die Biogasnutzung aus Gülle 64,3 t P₂O₄-Äquivalente pro Jahr mehr emittiert als im Vergleichsfall mit Netzstrom und Gasheizung. In den Szenarien für das Jahr 2020 steigen die Emissionen je nach Nutzungsintensität auf 177, 250 bzw. 157 t PO₄-Äquivalente pro Jahr an.

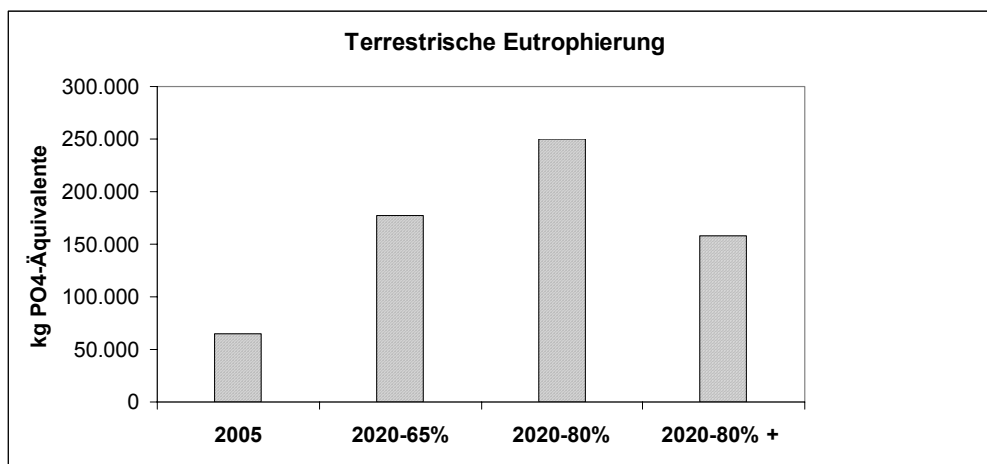


Abbildung 5-12: Jährliche Emissionen von eutrophierend wirkenden Emissionen (Atmosphäre)¹¹

5.6.2.3 Schlussfolgerung für die energetische Nutzung von Gülle

Die Vergärung von Gülle in Biogasanlagen führt zur Einsparung von Treibhausgasen und fossiler Ressourcen, doch nehmen gleichzeitig die Emissionen versauernd wirkender Substanzen und die terrestrische Eutrophierung zu (siehe Kapitel 5.6.2.2).

Bezogen auf die Gesamtemissionen in Deutschland hat die Biogasnutzung aus Gülle das größte Potenzial bezogen auf die Minderung des Treibhauseffektes (mit bis zu 0,58 %) und den Verbrauch fossiler Ressourcen (bis zu 0,3 %) - also auf die beiden Kategorien, für die eine Verbesserung durch die Maßnahme einhergeht. Für die Versauerung und die terrestrische Eutrophierung liegt der Einfluss der Biogasnutzung auf die Gesamtemissionen in Deutschland dagegen deutlich niedriger (etwa um den Faktor 20 gegenüber Treibhausgasen): Die versauernd wirkenden Emissionen würden um maximal 0,014 % der gesamten deutschen Emissionen zunehmen und die terrestrische Eutrophierung um maximal 0,016 %, siehe Tabelle 5-15.

¹¹ Anmerkung: Auf eine differenzierte Darstellung der Be- und Entlastungen wurde für diese Wirkungskategorie aus Gründen der verwendeten Software verzichtet.

Tabelle 5-15: Relativer Beitrag der Biogasnutzung aus Gülle an den Gesamtbelastungen für einzelne Wirkungskategorien in Deutschland (eigene Berechnung)

	Treibhaus-effekt	Energie-ressourcen	Versauerung	Eutrophierung
2020-65 %	-0,34 %	-0,18 %	0,025 %	0,018 %
2020-80 %	-0,54 %	-0,28 %	0,014 %	0,016 %
2020-80 % +	-0,58 %	-0,30 %	0,014 %	0,016 %

Bezogen auf die Kyoto-Verpflichtung würde die Biogasnutzung aus Gülle eine Zielerfüllung von maximal 2,25 % erbringen (im Szenario mit Erdgaseinspeisung). Selbst bei einer Erschließung von nur 65 % des gesamten Potenzials wäre der Anteil aber noch bei 1,3 %.

Die Biogasproduktion durch die Vergärung von Gülle kann also in nennenswertem Umfang Umweltentlastungseffekte erzielen. Die Ergebnisse der Szenariorechnungen zeigen eindeutig, dass die Nutzung von Biogas in KWK-Anlagen mit einer möglichst hohen Nutzung der Koppelwärme angestrebt werden sollte. Hierfür sollte das Biogas möglichst in dezentraler Kraft-Wärmekopplung genutzt werden. Da sich dies im ländlichen Raum nur bedingt realisieren lässt, bietet die Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz eine gute Alternative, um das Biogas mit hohen Wirkungsgraden zu nutzen.

Der Förderrahmen des EEG muss die Chance ergreifen, neben der Optimierung auf der Seite der Energienutzung auch eine optimale Prozessgestaltung auf der landtechnischen Seite zu forcieren: Es sollte insbesondere eine Pflicht zur abgeschlossenen Lagerung der Gärreste bestehen. Zusätzlich sollten die Gärreste mit Schleppschlauch oder Injektionsverfahren ausgebracht werden, um die versauernd wirkenden Emissionen und den Beitrag zur terrestrischen Eutrophierung möglichst gering zu halten.

5.7 Fazit für die Landwirtschaft

Aus den vorangehenden Ausführung wird deutlich, dass eine verstärkte Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen insgesamt einen positiven Umwelteffekt bewirken könnte, siehe Tabelle 5-16.

Tabelle 5-16: Relativer Beitrag der energetischen Biogas- und Strohnutzung an den Gesamtbelastungen für einzelne Wirkungskategorien in Deutschland (eigene Berechnung)

	Treibhaus- effekt	Energie- ressourcen	Versauerung	Eutrophierung
Stroh	-0,62 %	-0,20 %	-0,068 %	+0,019 %
Biogas (Gülle & Festmist)	-0,58 %	-0,30 %	+0,014 %	+0,016 %
Summe	-1,2 %	-0,5 %	-0,054 %	+0,035 %

Werden die Einzeleffekte der Stroh- und Güllenutzung addiert, so würde allein die energetische Nutzung von Stroh und Biogas aus Gülle und Festmist gegenüber heute zu einer Entlastung beim Treibhauseffekt und bei der Versauerung beitragen. Außerdem bedingt die Nutzung regenerativer Ressourcen eine geringere Inanspruchnahme fossiler Ressourcen und verlängert damit deren Reichweite. Für die Eutrophierung terrestrischer Systeme brächte die energetische Nutzung der beiden Reststoffe dagegen eine leichte Verschlechterung mit sich. Durch verbesserte Luftreinhaltetechnik könnte einer solchen Entwicklung entgegen gewirkt werden.

6 Stoffströme aus der Biotop- und Landschaftspflege

Auch auf den Flächen, die weder landwirtschaftlich noch forstwirtschaftlich genutzt werden, fällt durch die Biotop- und Landschaftspflege Biomasse an. Die aktuellen Stoffströme und das Potenzial aus der Biotop- und Landschaftspflege werden im Folgenden dargestellt.

6.1 Darstellung der Stoffströme aus der Landschafts- und Biotoppflege

Gepflegt werden erhaltenswerte Biotope (Offenlandschaften wie Grünland, Heiden, Feuchtbiotope, Streuobstwiesen), sowie kommunale Gärten, Parks, Sportplätze, Friedhöfe und die Randstreifen von Verkehrswegen.

Da diese Biomasse in der Regel nicht von der Fläche entfernt und zu keiner öffentlichen Anlage transportiert wird, ist sie in keiner Statistik erfasst und lässt sich daher nur mit großen Unsicherheiten in ihrem Aufkommen, ihren stofflichen Eigenschaften und ihrem derzeitigen Verbleib beschreiben.

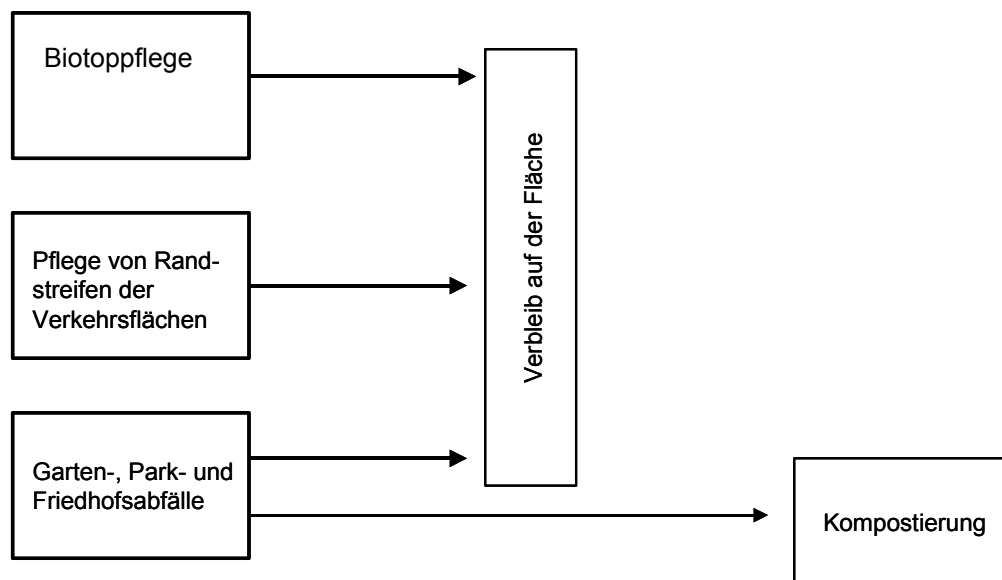


Abbildung 6-1: Übersicht über die Massenströme im Bereich Biotop- und Landschaftspflege

6.1.1 Aktuelle Stoffströme: Biotop- und Landschaftspflege

Im Folgenden wird der derzeitige Anfall der einzelnen Stoffströme aus der Landschaftspflege dargestellt.

6.1.1.1 Wegebegleitgrün

Einen Teil der Flächen bilden Randstreifen entlang der Verkehrswege, d.h. Begleitgrün von Straßen und Schifffahrtswegen, auf denen aus Gründen der Verkehrssicherheit regelmäßig Pflegemaßnahmen durchgeführt werden. Dies gilt auch für Böschungen entlang von Schienenwegen.

Dabei fällt Grünschnitt, Strauchschnitt und Baumschnitt an, der derzeit nicht genutzt, sondern vor Ort gemulcht und auf den Flächen belassen wird. Nur ein sehr kleiner Anteil dürfte als Holz oder als Grünabfall in eine weitere Verwertung gelangen. Es muss beachtet werden, dass die Schnittreste der Straßenränder meist für eine stoffliche Nutzung durch eine Kompostierung zu stark mit Schadstoffen belastet sind.

Nach Kaltschmitt [2004] fällt Straßenbegleitgrün über ca. 231.000 km an, je Straßenkilometer (differenziert nach Straßenart) 3-5 t Heu pro Jahr. Das sind ca. 1,0 Mio.t/a Heu, das sich teilweise bergen und energetisch nutzen ließe. Nach Kaltschmitt [2003] wird die nutzbare anfallende Menge Holz aus Straßenbegleitgrün mit 65.000 t/a angegeben. Der tatsächliche Holzanfall liegt höher, doch liegen hierfür keine Daten vor.

6.1.1.2 Öffentliche oder private Grünflächen

Als weitere Pflegefläche zählen öffentliche oder private Grünflächen. Im öffentlichen Bereich sind dies Parkanlagen, Friedhöfe und Sportanlagen, im privaten Bereich Gärten (v. a. Hobbygartenbau)

Auf kommunalen Flächen wird die bei der Pflege anfallende Biomasse von der Fläche abtransportiert und kompostiert oder als Mulchmaterial vor Ort belassen. Nur ein kleiner Anteil wird öffentlichen Abfallbehandlungsanlagen zugeführt.

In Privatgärten wird der Großteil der Gartenabfälle eigenkompostiert oder der öffentlichen Entsorgung überlassen (Biotonne, Wertstoffhof). Nur letztere werden durch die Abfallbehörden als Mengen erfasst.

Zahlen über den genauen Anfall an Biomasse aus den öffentlichen und privaten Grünflächen liegen nicht vor. Es sind jedoch einige Angaben zu Teilflächen möglich:

Nach Kaltschmitt [2004] gibt es 119.000 ha öffentliche Grünflächen und Sportanlagen.. Bei einem unterstellten Ertrag von 5 t / (ha*a), würden jährlich etwa 595.000 t Grünschnitt (Heu) anfallen. Hinzu kommen etwa 200.000 t Grünabfälle von Friedhöfen.

Das statistisch erfasste Aufkommen an privaten Gartenabfällen liegt jährlich relativ konstant bei 4 Mio. t (BMU Bundesbilanz), bzw. bei rund 50 kg/(E*a). Das tatsächliche Aufkommen bzw. der Anteil, der durch Eigenkompostierung genutzt wird, lässt sich nur schätzen, er ist in ähnlicher Größenordnung wie der erfasste Anteil anzunehmen. Dieser Stoffstrom wird in dieser Studie unter den Bioabfällen betrachtet (siehe Kapitel 7.5), hier wird er nur mitgenannt, da die Statistiken kleine Mengen Gartenschnitt aufweisen können.

Über den Anfall von Holzschnitt auf öffentlichen und privaten Grünflächen liegen in der Literatur keine Angaben vor. Ein Rückschluss auf den Holzanteil auf der Grundlage von Daten zur Zusammensetzung kommunaler Park- und Gartenabfälle erscheint an dieser Stelle sehr vage.

6.1.1.3 Biotoppflege

Viele landwirtschaftliche Nutzflächen fallen aus ökonomischen Gründen aus der Nutzung. Insbesondere Grünlandstandorte sind davon betroffen, da sie in der Regel durch eine geringere Bodengüte gekennzeichnet sind. Das führt dazu, dass sich in vielen Regionen Deutschlands ohne Pflegemaßnahmen das Landschaftsbild deutlich wandeln würde. Zur Erhaltung des charakteristischen Landschaftsbildes von Offenlandschaften finden deshalb Biotoppflegemaßnahmen statt.

Kaltschmitt [2003] gehen von etwa 400.000 ha ungenutzten Grünlands aus, hinzu kommen die weiteren Offenlandschaften. Damit fallen derzeit etwa 500.000 ha Pflegeflächen an, auf denen entsprechender Grün- und Holzschnitt anfällt [DLR/ifeu/WI

2004]. Für die extensiven Standorte wird ein Jahresertrag von 3,75 t_{FM}/ha (Heu) angenommen [DLR/ifeu/WI 2004]. Daraus ergibt sich ein Biomasseanfall von 1,88 Mio.t_{FM}/ha (Heu) auf der Fläche.

Das Mähgut wird *bestenfalls* von der Fläche entfernt, um eine Verfilzung des Grasaufwuchses zu vermeiden und die Nährstoffentnahme von der Fläche sicher zu stellen. Diese Biomasse wird derzeit nicht genutzt, sondern auf Haufen gesetzt und der Rotte überlassen. Für holzartige Biomassen aus der Biotoppflege gibt Hartmann (1996) Daten für Windschutzhecken und Gewässerrandgehölze an. Diese werden zusammen mit 422.600 t_{FM}/a beziffert.

Bei Landschaftspflegeresten hängt die Nutzung anders als bei allen anderen Biomasseströmen in noch stärkerem Maße von der Lage und Mechanisierbarkeit der Flächen, der Ertragshöhe, geeigneter Logistikkonzepte und dem Engagement regionaler Akteure ab.

In der folgenden Tabelle sind noch einmal alle Angaben für Biomassen aus der Landschafts- und Biotoppflege zusammengestellt.

Tabelle 6-1: Derzeitiger Anfall an Biomassen aus der Landschafts- und Biotoppflege (nach Kaltschmitt, 2003 und eigene Berechnungen)

Stoffstrom	Materi- al	Einheit	Frisch- masse	Tro- cken- masse	C	N	P
Wegränder	Heu	Mio.t/a	1,00	0,85	0,54	0,011	0,0050
Wegränder	Holz	Mio.t/a	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Parks –und Sportplätze	Heu	Mio.t/a	0,60	0,51	0,32	0,007	0,0030
Parks –und Sportplätze	Holz	Mio.t/a	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Friedhöfe	Heu	Mio.t/a	0,20	0,17	0,08	0,002	0,0010
Friedhöfe	Holz	Mio.t/a	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Biotoppfle- ge	Heu	Mio.t/a	1,88	1,60	0,74	0,019	0,0094
Biotoppfle- ge	Holz	Mio.t/a	0,42	0,32	0,21	0,001	0,0001

Es wird angenommen, dass derzeit entweder eine Nutzung als Kompost oder keine weitere Nutzung der Landschaftspflegereste vorgenommen wird. Quantitative Angaben können diesbezüglich angesichts der unzureichenden statistischen Datengrundlage nicht getroffen werden.

6.1.2 Potenziale aus der Biotop- und Landschaftspflege

Im Weiteren werden die Potenziale aus der Biotop- und Landschaftspflege aufgeführt. Als theoretisches Potenzial ist jeweils der gesamte Anfall aus dem vorangegangenen Kapitel angenommen worden. Das technisch-ökologische Potenzial beziffert den Teil, der nach technischen und ökologischen Restriktionen noch von der Fläche geborgen werden kann. Da die anfallende Biomasse heute kaum genutzt wird, unterscheiden sich somit das technisch-ökologische Potenzial und nutzbare Potenzial nicht voneinander.

6.1.2.1 Wegebegleitgrün

Es wird angenommen, dass der Pflegeschnitt von Wegrändern zur Hälfte genutzt werden kann, daher ist das theoretische Potenzial höher als das technisch-ökologische.

Tabelle 6-2: Biomassepotenzial aus dem Wegebegleitgrün (nach [Kaltschmitt, 2003])

Stoffstrom	Material	Einheit	theoretisch	technisch-ökologisch	ungenutzt
Wegränder	Heu	Mio.t _{FM} /a	1,00	0,2-0,4	0,2-0,4
Wegränder	Holz	Mio.t _{FM} /a	k.A.	0,07	
Summe	alles	Mio.t_{FM}/a	1,00	0,27-0,47	0,27-0,47
Summe	alles	Mio.t_{TM}/a	0,85	0,23 - 0,40	0,23 - 0,40

6.1.2.2 Garten-, Park- und Friedhofsabfälle

Grünabfälle, die in kommunalen Gärten und Parkanlagen anfallen, verbleiben als Mulchmaterial vor Ort. Sie werden aber teilweise auch abgefahren und an Grünabfall- und Bioabfallkompostierungsanlagen angeliefert.

Die Zusammensetzung der Grünabfälle und damit auch ihre Eigenschaften unterliegen im Jahresgang einer deutlichen Veränderung. Nach [Öko-Institut 2004] kann angenommen werden, dass der Anteil des krautigen Materials im Jahresmittel bei etwa

40 % liegt und der Anteil eher holzigen Materials bei etwa 60 %. Je nach Fläche und Jahreszeit gibt es große Schwankungen im Grünabfallaufkommen.

Das Biomassepotenzial für eine stoffliche Nutzung als Humus ist hier nicht weiter quantifiziert worden, doch findet sich in Kapitel 6.2.1 eine Betrachtung zur Umweltwirkung der Kompostierung und Humusbildung auf der Fläche. Hier werden die Potenziale für eine energetische Nutzung aufgeführt.

Tabelle 6-3: Biomassepotenzial von öffentlichen Grünflächen (nach Kaltschmitt, 2003)

Stoffstrom	Material	Einheit	theoretisch	technisch-ökologisch	ungenutzt
Friedhof	Heu	Mio.t _{FM} /a	0,20	0,07 bis 0,15	0,07 bis 0,15
Gärten, Parks, Sportplätze	Heu	Mio.t _{FM} /a	0,60	0,2 bis 0,4	0,2 bis 0,4
Friedhof	Holz	Mio.t _{FM} /a	k.A.	k.A.	k.A.
Gärten, Parks, Sportplätze	Holz	Mio.t _{FM} /a	k.A.	k.A.	k.A.
Summe (FM)	alles	Mio.t_{FM}/a	0,80	0,27-0,55	0,27-0,55
Summe (TM)	alles	Mio.t_{TM}/a	0,68	0,23 bis 0,47	0,23 bis 0,47
Stoffstrom	Material	Einheit	theoretisch	technisch-ökologisch	ungenutzt

6.1.2.3 Reste aus der Biotoppflege

Aus technisch-ökologischer Sicht ist etwa ein Viertel bis die Hälfte des Materials aus der Biotoppflege nutzbar [Kaltschmitt, 2003]. Damit ergeben sich folgende Potenzialangaben für Reste aus der Biotoppflege.

Tabelle 6-4: Biomassepotenzial aus der Biotoppflege

Stoffstrom	Material	Einheit	theoretisch	technisch-ökologisch	ungenutzt
Biotoppflege	Heu	Mio.t _{FM} /a	1,88	0,47 – 0,92	0,47 – 0,92
Biotoppflege	Holz	Mio.t _{FM} /a	0,42	0,11 – 0,22	0,11 – 0,22
Summe (FM)	alles	Mio.t_{FM}/a	2,3	0,58 – 1,14	0,58 – 1,14
Summe (TM)	alles	Mio.t_{TM}/a	1,913	0,482 bis 0,947	0,482 bis 0,947

Nach [ifeu/IUS 2004] kommen auf eine Tonne kommunale Grünabfälle derzeit etwa 3 t Grüngut aus Naturschutz- und Biotopflächen. Das würde bedeuten, dass 2,2 Mio. t Grüngut jährlich in der Biotoppflege anfallen – das stimmt gut mit dem hier ausgewiesenen theoretischen Potenzial überein.

Die Ergebnisse sind noch einmal für alle Stoffströme übersichtlich in Tabelle 6-5 dargestellt. Insgesamt ergeben die Schnittreste von Pflegeflächen ein Potenzial von maximal 23,89 PJ/a.

Tabelle 6-5: Übersicht über das Biomassepotenzial der Schnittreste von Pflegeflächen

Stoffstrom	Material	Einheit	theoretisch	technisch-ökologisch	ungenutzt
Massen					
Straßenbegleitgrün	Masse	Mio. t_{FM}/a	1,00	0,27 - 0,47	0,27 - 0,47
Öffentliche und private Grünflächen	Masse	Mio. t_{FM}/a	0,8	0,27 - 0,55	0,27-0,55
Biotoppflege	Masse	Mio. t_{FM}/a	2,3	0,58 – 1,14	0,58 – 1,14
Insgesamt	Masse	Mio. t_{FM}/a	4,10	max. 2,16	max. 2,16

6.2 Szenarien: Abschätzung über die Möglichkeiten einer Nutzung von Biomassen aus Grünanlagen und Pflegeflächen

Als Nutzungsoptionen kommen für die Schnittreste aus Biotop- und Landschaftspflege nur die Kompostnutzung und die energetische Nutzung in Frage. Für beide Optionen folgen nun Einschätzungen zu deren Umweltauswirkungen.

6.2.1 Nutzung als Kompost

Die nicht auf den Flächen verbleibenden Grünabfälle werden entweder klassisch getrennt oder zusammen mit Bioabfall zu Kompost verarbeitet und anschließend zur Humusreproduktion im Gartenbau oder auf landwirtschaftlichen Flächen verwertet. Vergleicht man die Vermarktung der Komposte aus Grünabfällen und aus Bioabfällen

[EdDE 2005], zeigt sich, dass erstere wegen ihrer Stabilität und geringeren Nährstoffgehalte eher in hochwertigen Märkten Anwendung finden (siehe Abbildung 6-2). Sie treten somit eher in Konkurrenz zu Produkten, die auf Torfbasis erzeugt wurden. Dies ist aus Sicht des Naturschutzes, aber auch des Ressourcen- und Klimaschutzes sehr vorteilhaft [Vogt 2002].

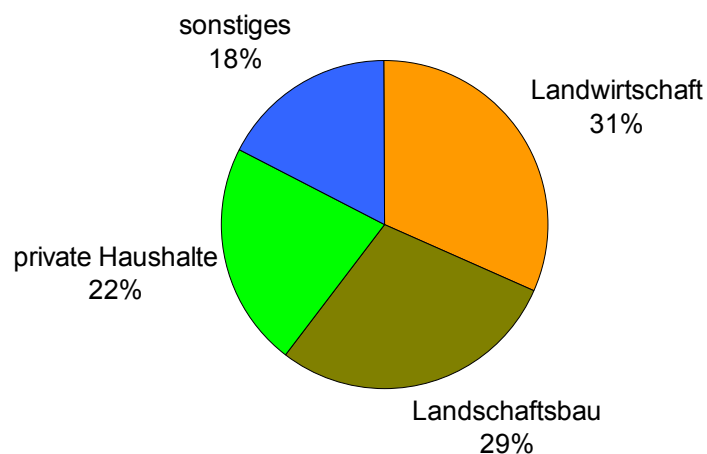


Abbildung 6-2: Verwertung der Grünabfallkomposte [EdDE 2005]

Die Grünabfälle, die in den Privatgärten selbst kompostiert werden, werden zu einem erheblichen Anteil in Konkurrenz zu Torfprodukten verwendet. Die Eigenkompostierung ist daher aus Sicht der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen und des Klimaschutzes sehr vorteilhaft. Die Praxis der Eigenkompostierung sollte gestützt werden, wenn sie in Anlehnung an die gute fachliche Praxis erfolgt, d.h. die verwendeten Mengen sich am Nährstoffbedarf der Gartenflächen orientieren [Vogt 2002].

Die bislang über eine Kompostierung genutzten Biomassen bieten aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen die Chance, verstärkt in Konkurrenz zu Torfprodukten zu treten. Wie man aus der Vermarktung der Grünabfallkomposte ersehen kann, erfolgt dies teilweise auch schon. Auch durch die Eigenkompostierung lassen sich diese Produkte tendenziell substituieren.

6.2.2 Energetische Nutzung

Entgegen allen anderen diskutierten Biomasseströmen fallen Schnittreste aus der Biotop- und Landschaftspflege nicht zu einem Zeitpunkt an einem Standort oder auf einer eng umrissenen Fläche an. Sie sind wie Grünabfälle im Allgemeinen als Masse je nach Herkunft und Jahreszeit stofflich verschieden und daher in ihren Entsorgungseigenschaften sehr heterogen. Dies macht eine Nutzung schwierig.

Gerade für das Grüngut aus der Pflege von verschiedenen Flächen ist die Frage interessant, inwieweit eine energetische Nutzung gegenüber dem bisher oft praktizierten Verbleib als Mulchmaterial auf der Fläche oder zu Haufen am Parzellenrand aufgeschichtet aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung von fossilen und mineralischen Ressourcen sinnvoll ist. Aus Sicht des Naturschutzes sollte der Grasschnitt von der Fläche geborgen werden, um eine wünschenswerte Aushagerung zu erreichen bzw. ein Verfilzen der Grassoden zu verhindern. Baum- und Strauchschnitt wird generell gehäckselt, unabhängig von der Frage ob eine nachfolgende Nutzung geplant ist.

Die Entnahme des Mähgutes von der Fläche sowie das Häckseln von Strauch- und Baumschnitt muss nicht in die Bilanzierung einer Grünmassennutzung aufgenommen werden, sie erfolgt unabhängig davon. Der ökologische Nutzen aus der Energieerzeugung ist damit nur dem Transportaufwand und dem damit verbundenen Energiebedarf gegenüber zu stellen. Die Energienutzung erfolgt bei krautigem Material in Biogasanlagen, bei holzigem Material in Verbrennungsanlagen.

Mit den in Tabelle 6-6 genannten Kenndaten ist selbst bei einer geringen spezifischen Biogasausbeute eine Transportentfernung von mehr als 100 km denkbar, ohne dass der Break-even-point erreicht wäre. In der Regel sind Entfernungen von mindestens 250 km möglich.

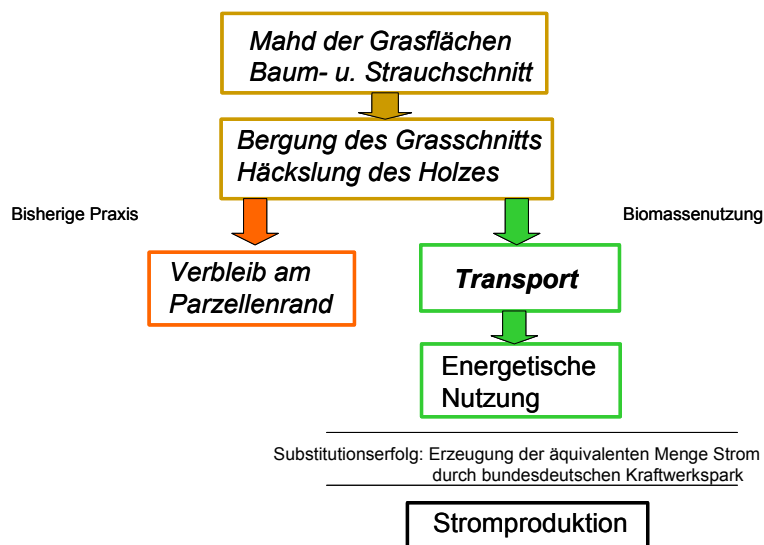


Abbildung 6-3: Nutzung von Biomasse aus Pflegeflächen

Nach [IE 2003] kann für Landschaftspflegeholz ein Heizwert von 9,2 MJ/kg Feuchtmasse angesetzt werden bei einem Wassergehalt des Holzes von 50 %. Hackgut wird in verschiedene Klassen aufgeteilt, die auch nach spezifischen Schüttdichten unterscheiden. Nach Ö-Norm M7133 liegt die mittlere Schüttdichte bei 160 – 250 kg/m³, so dass vereinfachend von 200 kg/m³ ausgegangen werden kann.

Legt man dieselben Transportmittel als Alternativen zugrunde und geht von einer Nutzung des Holzes in einem Biomasse HKW mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 20 % und einem Netto-Wärmewirkungsgrad von 40 % aus, so entspricht das Energieerzeugungspotenzial der zugeladenen Fracht einer Transportentfernung von mehr als 700 km.

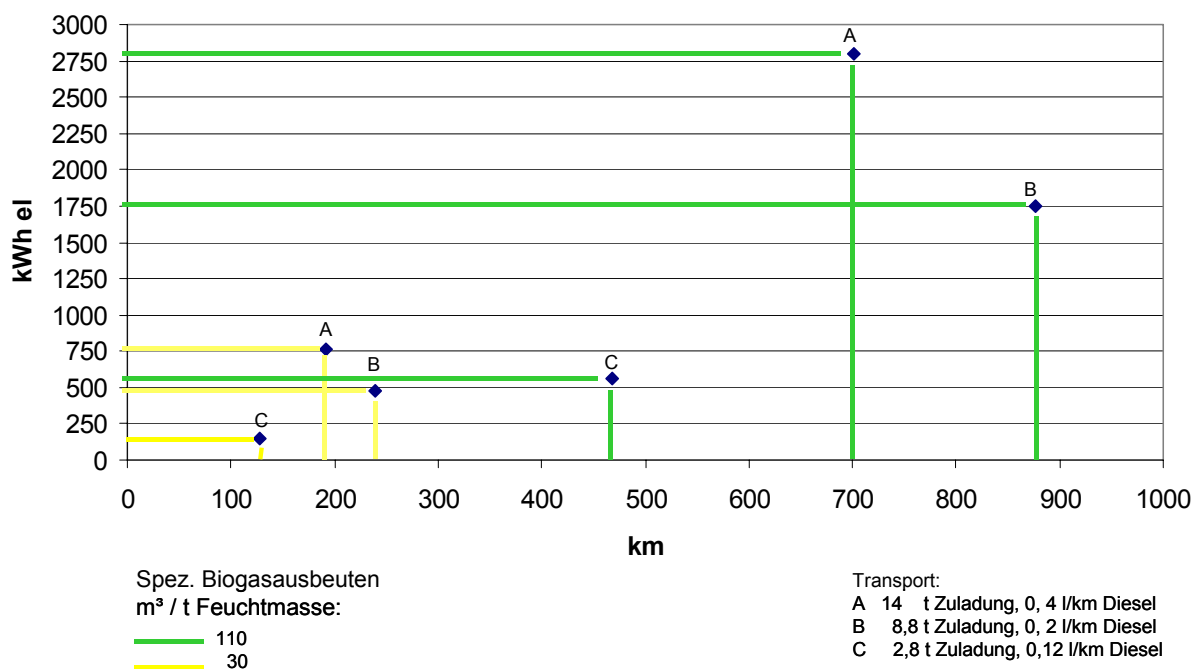


Abbildung 6-4: Maximale Transportentfernung angesichts des Energieerzeugungspotenzials der Zuladung in Abhängigkeit von Transportmittel und spez. Energieausbeute für krautige Biomasse

Tabelle 6-6: Kenndaten für eine energetische Nutzung von krautiger Biomasse aus Pflegeflächen (Annahmen)

Schüttdichte Gras 350 kg/m³				
A Lkw-Zug	40 m³/Fahrt	14 t/Fahrt	0,4 l Diesel/km	3,99 kWh/km¹
B Schlepper	25 m³/Fahrt	8,8 t/Fahrt	0,2 l Diesel/km	1,99 kWh/km¹
C Klein-Lkw	8 m³/Fahrt	2,8 t/Fahrt	0,12 l Diesel/km	1,2 kWh/km¹
Spezifische Gasausbeuten² (m³ Gas/t FM)				
Landschaftspflegegras (frisch)	28			
Grasschnitt (frisch)	113			
BHKW el. Wirkungsgrad	33 %			

¹ ohne Vorkette

² nach [KTBL 2005]

Das für die Nutzung der Biomasse aus Pflegeflächen aufgezeigte **Ergebnis** geht von relativ günstigen Randbedingungen bei Transport (hohe Auslastung der Fahrzeuge) und Energienutzung (relativ hohe Wirkungsgrade) aus. Außerdem wird kein Aufwand

für Bergung und Häckselung des Materials in Rechnung gestellt. In der Praxis kann daher die Transportwürdigkeit der Biomasse tendenziell etwas geringer sein.

Trotzdem lässt sich festhalten, dass die Bergung der Biomasse aus Pflegeflächen aus Sicht der Schonung von Ressourcen und aus ökologischer Sicht selbst dann sinnvoll erscheint, wenn sich die Energieerzeugungsanlagen nicht in unmittelbarer Nähe befinden bzw. die Auslastung der eingesetzten Fahrzeuge nicht optimal ist. Setzt man ganz grob das theoretisch ermittelte Potenzial von 2,3 Mio. t an sowie eine **worst-case-Annahme**, dass es sich bei der gesamten Biomasse um krautiges Material handelt mit einem niedrigen spezifischen Biogaspotenzial von 30 m³/t Feuchtschubstanz, ergäbe sich bei einer reinen Verstromung eine **jährliche Einsparung von 116.000 t CO₂**¹², ohne Berücksichtigung der Transporte. Dabei sind andererseits aber auch nicht die Emissionen berücksichtigt, die bei der Rotte der am Rande der Pflegeflächen aufgesetzten Haufen als Methan frei werden können. Mit Nutzung der Biomasse würden diese Emissionen vermieden.

Angesichts der bei der Pflege anfallenden Massen bzw. der Größe der Brach- und Pflegeflächen empfiehlt es sich, immer auch Möglichkeiten der energetischen Nutzung in Pflegekonzepten einzubeziehen. Dies gilt vor allem für den Baum- und Strauchschnitt und deutlich weniger für überständiges Gras. Da sich für keines der Materialien wahrscheinlich ein Erlös erzielen lässt und Transportkosten zu berücksichtigen sind, müsste diese Nutzung der Biomasse durch finanzielle Anreize aus Pflegegeldern gestützt werden.

6.3 Fazit: Reste aus der Biotop- und Landschaftspflege

Trotz aller Unsicherheiten durch die Datenlage lässt sich für alle genannten Teilströme feststellen, dass ein Teil der bei der Landschaftspflege anfallenden Biomasse derzeit aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen nicht optimal genutzt wird.

In vielen Fällen werden diese Biomassen als Mulchmaterial auf den Böden zurückgelassen, was nicht immer aus dem Bedarf der Böden bzw. der Kulturen abgeleitet ist, sondern eher aus Entsorgungsgesichtspunkten erfolgt. Diese Maßnahmen gelten als

¹² CO₂-Emissionsfaktor Strom 0,925 kg/kWh für 2005 nach [BMU/BMWi 2006, S.48]

Abfallvermeidungsmaßnahme [Brunner 2005]. In einigen anderen Fällen wird das Material vor Ort verbrannt, ohne dass damit eine Energienutzung verbunden wäre.

Potenziale zur Optimierung der Biomassestoffströme aus der Biotop- und Landschaftspflege bestehen daher vor allem in der Mobilisierung der bisher ungenutzten Grünmassen zur energetischen Nutzung oder in der Kompostnutzung.

7 Stoffströme in Industrie und Abfallwirtschaft

In den Verarbeitungsstufen für landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Rohstoffe sowie beim Konsumenten fallen weitere biogene Reststoffe, Nebenprodukte oder Abfälle zur weiteren Entsorgung an, die nachfolgend diskutiert werden. Eine schematische Übersicht gibt Abbildung 7-1.

Ein Teil der biogenen Massen fällt über den Abwasserpfad an und damit als Rückstand aus der Abwasserreinigung. Ein Teil dieser Rückstände (Klärschlämme) wird stofflich genutzt und gelangt beispielsweise direkt oder indirekt wegen des Gehaltes an Pflanzennährstoffen und zur Humusreproduktion als Düngemittel auf Böden. In Anbetracht hoher Schadstoffgehalte gelangt aus Bodenschutzgründen ein wachsender Anteil der Klärschlämme in eine thermische Behandlung bzw. energetische Nutzung, und dies entweder in Klärschlammmonoverbrennungsanlagen oder über eine Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen oder Kraftwerken.

Aus der Produktion gelangen aus betriebswirtschaftlichen Gründen grundsätzlich nur die Rückstände in die Abfallwirtschaft, die nicht als Nebenprodukte vermarktet oder als Biomassen in die Produktion rückgeführt werden können. Für diese Stoffe, die als Nebenprodukt vermarktet werden oder in die Produktion rückgeführt werden, lassen sich Erlöse erzielen. Ihre Nutzung ist nicht nur aus ökonomischer Sicht vorteilhaft, sondern auch aus Sicht des Ressourcenschutzes [Vogt 2002].

Aus der Verarbeitung und Produktion fallen Bioabfälle als Massenabfälle in gleichbleibenden Qualitäten bzw. gleichbleibender Zusammensetzung und Eigenschaft an. Für Biomassen, die als Abfallstoffe nach Nutzung und Konsum anfallen, gilt dies in dieser Form nicht. Sie fallen in vergleichsweise kleinen Mengen pro Haushalt oder Gewerbe und zusammen mit anderen Abfällen an. Sie müssen über die Bereitstellung entsprechender Sammelsysteme als Biomassen mit möglichst geringen Verunreinigungen oder Fehlbestandteilen anderer Abfallstoffe getrennt erfasst und verwertet werden. Die Erfassungsquoten können dabei prinzipiell niemals 100 % erreichen. Ein nicht unerheblicher Anteil dieser Biomassen wird deshalb als Bestandteil des Restabfalls entsorgt.

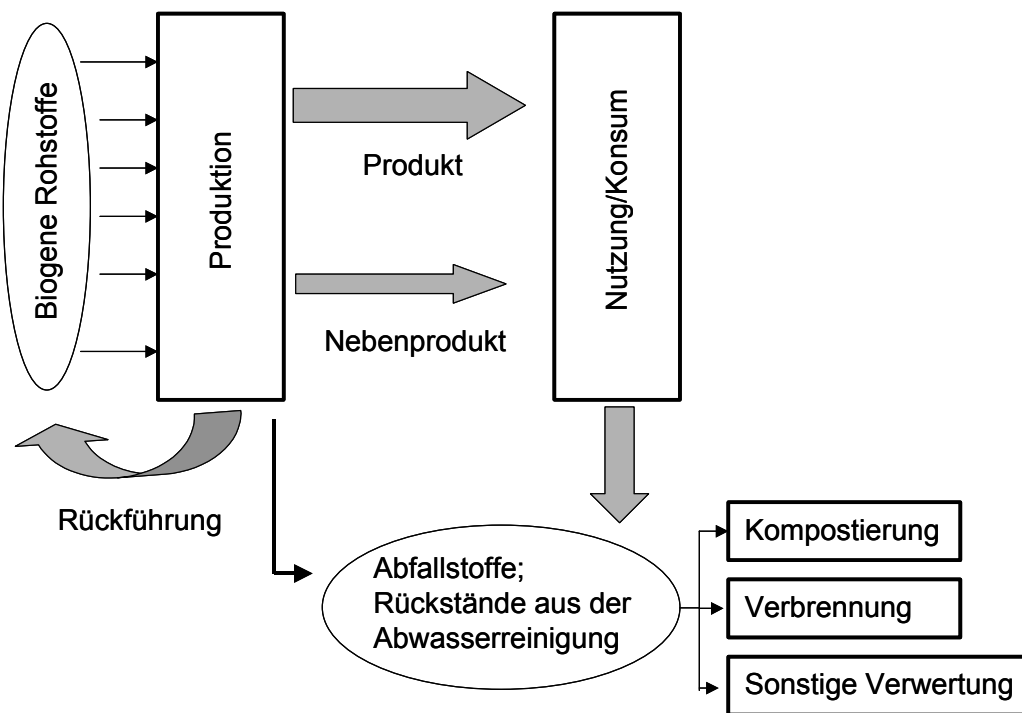


Abbildung 7-1: Übersicht über die Massenströme in der Abfallentsorgung

Einige dieser Biomassen, die in die Abfallwirtschaft gelangen, werden dort aerob oder anaerob zusammen mit anderen Bioabfällen zu Komposten verarbeitet und als solche meist in der Landwirtschaft oder dem Garten- und Landschaftsbau eingesetzt. Kleinere Mengen gelangen auch als Co-Fermente in landwirtschaftliche Gülle-Fermenter und werden damit anschließend als Wirtschaftsdünger auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht. Kleine Mengen werden außerdem direkt oder über eine Veresterung als Treibstoff eingesetzt oder anderweitig energetisch genutzt.

Die im Restabfallstrom verbleibenden Biomassen werden über Müllverbrennungsanlagen und Mechanisch-Biologische Restabfallbehandlungsanlagen entsorgt.

7.1 Rückstände aus der Fleischverarbeitung und Tierkörperbeseitigung

7.1.1 Stoffströme und Potenziale: Rückstände aus der Fleischverarbeitung und Tierkörperbeseitigung

Nach Angaben der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle [ZMP 2005] wurden in Deutschland etwa 6,9 Mio. t Fleisch erzeugt. Dies stellt 92 % der in Deutschland abgesetzten Menge von 7,5 Mio. t dar und beinhaltet nicht nur die für den menschlichen Verzehr bestimmte Menge. Fleisch wird nicht nur für den menschlichen Verzehr erzeugt, sondern enthält auch Mengen, die zu Tierfutter verarbeitet und industriell verwertet werden. Der für den menschlichen Verzehr bestimmte Anteil beläuft sich auf 61,5 kg/a und Person (5,04 Mio. t) und beträgt damit nur 68 % des gesamten Fleischverbrauchs [ZMP 2005].

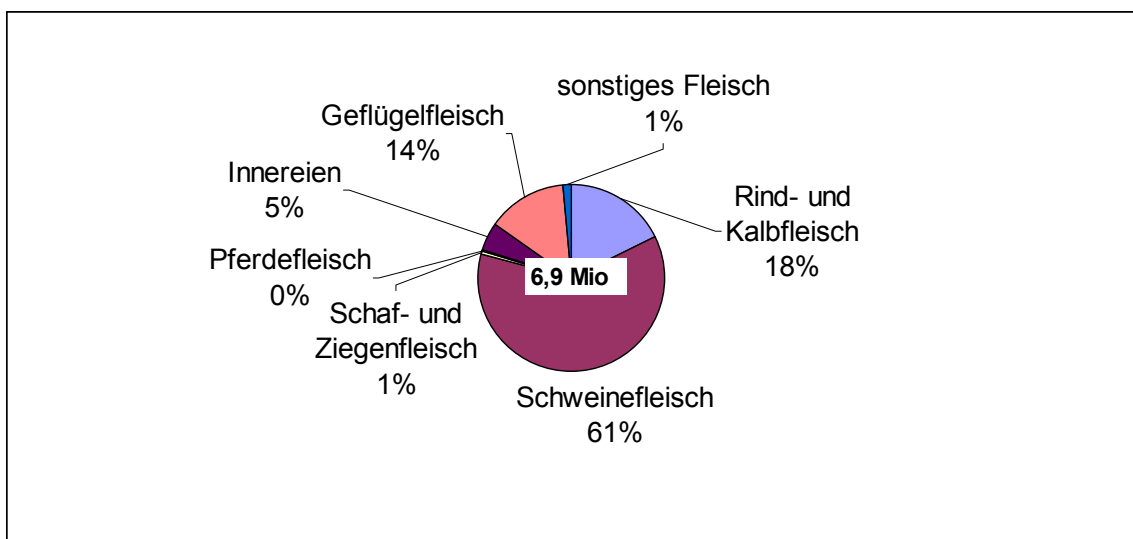


Abbildung 7-2: Inländische Fleischerzeugung für das Jahr 2003 (Angaben in Tonnen) [ZMP 2005]

Die Fleischwirtschaft ist sehr ausdifferenziert. Die Schlachtung der Tiere und die Weiterverarbeitung insbesondere zu Fleisch für den menschlichen Verzehr erfolgt meist in zwei unterschiedlichen Anlagen bzw. Betrieben. So erfolgt die Schlachtung von Rindern und Schweinen in Schlachthöfen, die Weiterverarbeitung jedoch meist getrennt davon in unterschiedlichen Zerlegebetrieben. Für Geflügel gibt es spezialisierte Schlachtbetriebe, in denen auch die Weiterverarbeitung erfolgt.

Neben den Schlachtabfällen fallen Federmehl, Fleischknochenmehl, Blutmehl an, die traditionell als Rohstoff vor allem in der Düngemittelindustrie eingesetzt werden. Rückstände aus der Verarbeitung von Rindern, gefallene Tiere sowie Rückstände übriger Tiere, die nicht direkt vermarktet werden konnten, werden Tierkörperverwertungsanstalten übergeben, die diese zu Tierfett und Tiermehl weiter verarbeiten.

In einer Tierkörperverwertungsanstalt werden die Tierkörper zunächst über einen Grobbrecher und anschließend über einen Feinbrecher zu einem Fleischbrei zerkleinert. Dieser wird anschließend über 20 Minuten und 3 bar Druck auf 133°C erhitzt und getrocknet. Danach erfolgt eine Auftrennung von Tierfetten und Tiermehl und ihre anschließende getrennte Entsorgung bzw. Verwertung. Die Herstellung von Federmehl, Knochenmehl etc. erfolgt im Prinzip gleichartig mit dem Unterschied, dass keine gemischten Ausgangsstoffe in die Verarbeitung gelangen.

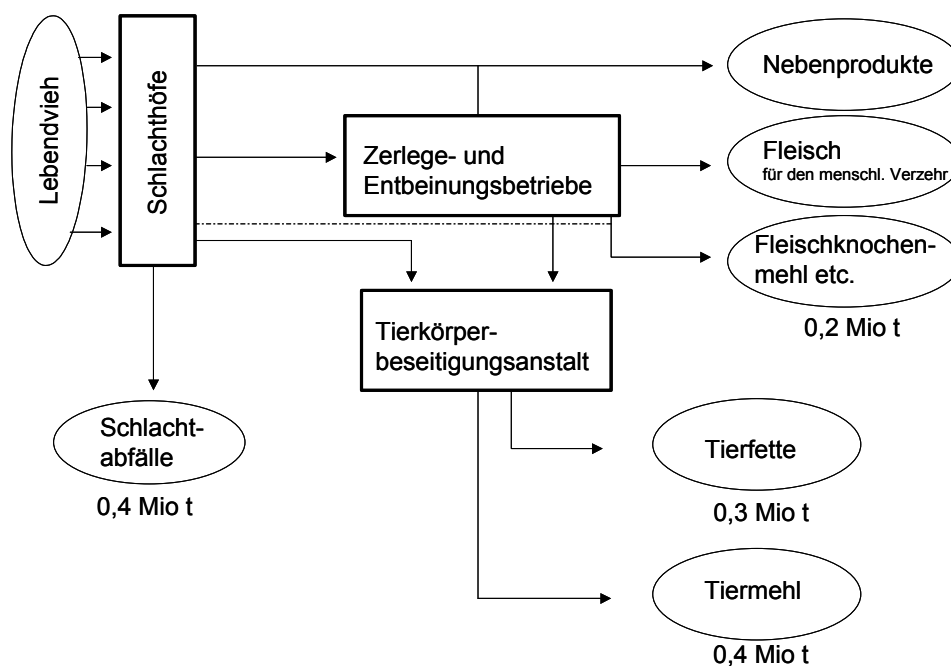


Abbildung 7-3: Übersicht über die Massenströme bei der Fleischerzeugung

7.1.1.1 Abfälle aus Schlachthöfen

In den Schlachthöfen selbst fallen die eigentlichen Schlachtabfälle zur Entsorgung an. Es handelt sich um Magen- und Panseninhalte, Geschlinge, Schleim etc. sowie Flotatfette mit einem Gesamtaufkommen von etwa 400.000 t/a [Öko-Institut 2004]. Etwa zwei Drittel davon können nach diesen Angaben über Vergärungsanlagen

energetisch genutzt werden (Abbildung 7-4). Die in Tabelle 7-1 vorgenommene Mengenaufteilung zwischen Magen- und Panseninhalt erfolgte nach dem über Großvieheinheiten umgerechneten Verhältnis der Tierarten zueinander [ZMP 2005].

Tabelle 7-1: Stoffdaten für Schlachthofabfälle [Oechsner 1998]

	Feuchtmasse t/a	TS	oTS der TS	N _{ges} der TS	P _{ges} der TS
Flotatschlamm	40.000	5–24 %	83–98 %	3,2–8,9 %	0,4–1,3 %
Mageninhalt Schwein	80.000	12–15 %	80–84 %	2,5–2,7 %	0,46 %
Panseninhalt	280.000	11–19 %	80–90 %	1,3–2,2 %	0,48–0,7 %

Der Anteil Flotatschlamm wurde der Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomassen [Öko-Institut 2004] entnommen.

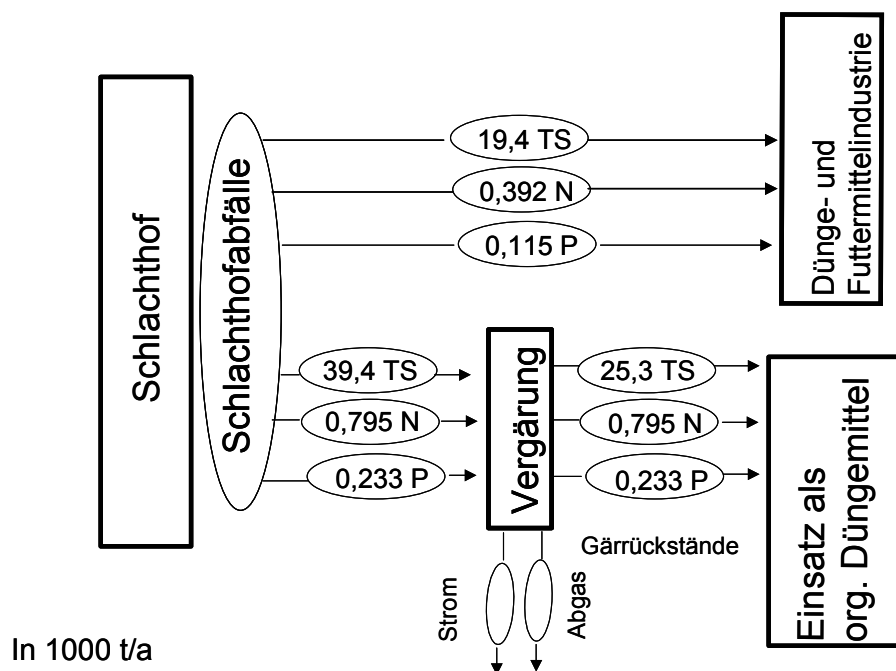


Abbildung 7-4: Stoffflüsse für Schlachthofabfälle

Bei den Schlachthofabfällen handelt es sich um eine Vielzahl von unterschiedlichen Abfällen, wobei die angeführten Rückstände aus der Abwasserreinigung sowie die Magen- und Darminhalte, Geschlinge etc. sicherlich den größten Anteil darstellen. Sie fallen nach der EG-Hygieneverordnung 1774/2002 über tierische Nebenprodukte in die

Kategorie 2 und dürfen neben einer Verbrennung auch in einer Biogas- und Kompostierungsanlage verwendet oder auf Böden ausgebracht werden.

Es kann davon ausgegangen werden, dass alle Bestandteile, die einer Energieerzeugung über Vergärungsanlagen zugänglich sind, auch dementsprechend eingesetzt werden.

Zum direkten Einsatz in der Futtermittelindustrie oder ggf. der Vergärung mit anschließender Nutzung als Düngemittel ist aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen im Rahmen dieses Projektes kein Optimierungspotenzial zu erkennen. Über diese Verwertung werden alle Nährstoffe wie bspw. Stickstoff und Phosphor genutzt. Angesichts des hohen Wassergehaltes wäre eine andere energetische Nutzung als über Biogas für diese Abfallstoffe nicht geeignet.

Für Magen- und Darminhalte wie auch die Flotatschlämme bestehen aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen nach diesen Überlegungen keine Optimierungspotenziale. Dies gilt sowohl für den Energieinhalt, der zur Energieerzeugung wie auch als Futterwert nutzbringend eingesetzt wird, als auch für die übrigen Nährstoffe. Sie werden als Futtermittel oder über den Vergärungsrückstand als Düngemittel verwertet. Dass der Einsatz als Futtermittel aus ökologischer Sicht und aus Sicht des Ressourcenschutzes für Biomassen sinnvoll ist, konnte in verschiedenen Untersuchungen wie bspw. [Vogt 2002] und [ifeu 2001] gezeigt werden.

7.1.1.2 Abfälle aus der Fleischverarbeitung und Tierkörperverwertungsanlagen

Tierkadaver, Tierkörperteile und die übrigen oben nicht genannten Schlachtabfälle werden in Tierkörperbeseitigungsanlagen weiter verarbeitet. Nach Veröffentlichung der Servicegesellschaft für Tierische Nebenprodukte mbH [STN 2005] waren dies im Jahr 2004 rund 2,3 Mio. t tierische Nebenprodukte, wobei 0,4 Mio. t als so genannte gefallene Tiere (d.h. Tierkadaver) angeliefert wurden.

Erzeugt wird zunächst ein Fleischbrei, der sterilisiert und in Schilfer und Rohfett getrennt sowie auf einen Restfeuchtegehalt von etwa 6 % getrocknet wird. Dieses Material lässt sich im Verhältnis 2:1 zu Tiermehl (bzw. auch Knochenmehl, Federmehl, Blutmehl) und Tierfett verarbeiten. Die Gesamtmenge der Erzeugnisse belief sich nach [STN 2005] auf 889.608 Tonnen (Tabelle 7-3). Die Erzeugnisse wurden bis vor einigen

Jahren (bis Verfütterungsverbotsgesetz 29.03.2001 in Folge BSE Problematik) in großem Umfang in Mischfutterbetrieben zu Futtermittel verarbeitet.

Nach [STN 2005] wurden Tiermehl und Tierfett im Jahre 2004 folgendermaßen (siehe Tabelle 7-2) entsorgt:

Tabelle 7-2: Entsorgung der Erzeugnisse aus Tierkörperverarbeitungsbetrieben [STN 2005]

Tiermehl	K 2	9 %	Düngemittelindustrie
	K 2	4 %	Futtermittelindustrie (Haustiere)
	K 1+2	87 %	energetisch verwertet
Fleischknochenmehl	K 3	96,8 %	Düngemittelindustrie
	K 3	3,2 %	energetisch verwertet
Tierfett	v. a. K 3	45,4 %	Einsatz in der Fettchemie
	*	3,2 %	Futtermittelindustrie (Haustiere)
	v. a. K 1	51,2 %	energetisch verwertet

* Geflügelfett

Mit K1 wird das Material kategorisiert, bei dem es sich um BSE-Risikomaterial bzw. alle die Tiermehle und Tierfette handelt, die aus der Verarbeitung von Rindern stammen bzw. aus einem Gemisch, das auch BSE-Risikomaterial enthalten kann.

Die energetische Nutzung des **Tierfetts** erfolgte zu etwa 40 % auch zur internen Energieversorgung der Tierkörperverwertungsanlagen. Dies ist die einzige Verwendungsmöglichkeit für die Tierfette, die aus der Verarbeitung von K1-Material stammen. Die übrigen Tierfette, die sich nicht hochwertig stofflich verwerten lassen, werden zunehmend zu Biodiesel weiter verarbeitet [SÜPRO 2006].

Tabelle 7-3: Menge und Zusammensetzung der aus Fleischbrei erzeugten Produkte [Dichtl 2005] [STN 2005] sowie Fleischknochenmehl

	Menge in t FS	TS in %	Menge in t TS	P in % TS	Menge P in t	N in % TS	oTS in % TS
Tier- und Blutmehl etc.	407.151	95,4 %	388.422	3,1 %	12.041	8–12 %	75 %
Fleischkno- chenmehl	198.276	95,4 %	189.155	12 %	22.700	6,9 %	57 %
Tierfette	284.181	99,75 %	283.470	0,19 %	540	0,1 %	

Die Tierfette, die nicht thermisch behandelt werden, gelangen als Rohstoff vor allem in die Fettchemie und werden dort beispielsweise zu Lebensmitteln, Kosmetika, Seifen und Waschmittel verarbeitet. Als Rindertalg und Schweineschmalz sind sie Bestandteil von Suppen und Saucen, Gewürzmischungen, Bäckereiprodukten und Brotaufstrichen. Der Einsatz von Fetten zur Herstellung von Seifen, Waschmitteln und Kosmetikprodukten hat eine sehr lange Tradition.

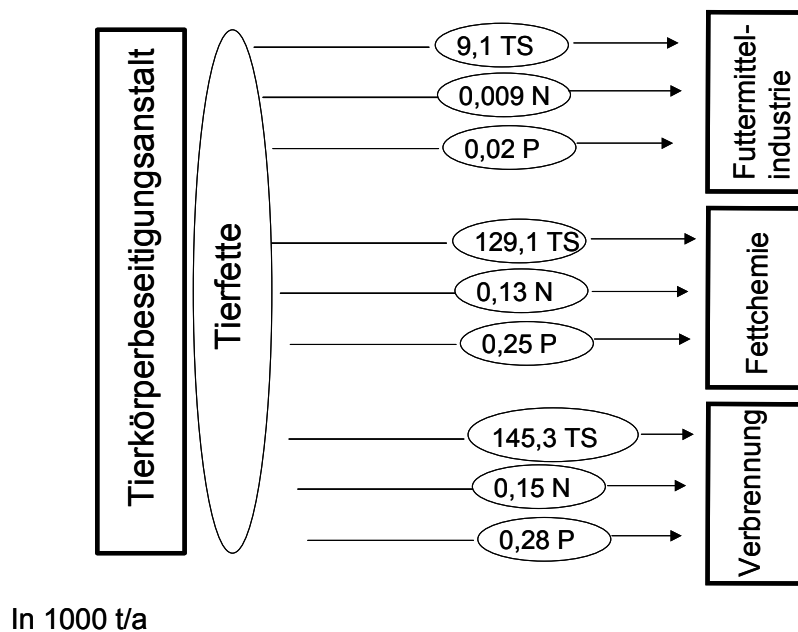


Abbildung 7-5: Stoffflüsse für die erzeugten Tierfette

Für die stoffliche Verwertung von Tierfetten, aber auch von pflanzlichen Altspeisefetten (Brat- und Frittierfette), zeigten Ergebnisse im Praxistest, dass eine Aufbereitung und Einsatz als Kühlschmierstoff (KSS) den mineralölbasierten KSS gleichwertig ist [Vogt 2002]. Bislang konnte dieser Verwertungsweg aber noch nicht im Entsorgungsmaßstab aufgebaut werden [Dettmer 2005].

Aus dieser groben Übersicht lässt sich aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen kein Optimierungspotenzial für Tierfette erkennen.

Die stoffliche Verwertung von tierischen Fetten sowie die Verwendung als Treibstoff substituiert die Verwendung von pflanzlichen und mineralöhlhaltigen Ausgangsstoffen

und deren Herstellungs- und Bereitstellungsaufwendungen. Wie eine umfangreiche vergleichende ökologische Bewertung [Vogt 2002] ergab, sind die stoffliche Verwertung und die Verwendung als Treibstoff gegenüber einer Verwertung bspw. über Vergärungsanlagen aus Sicht des Ressourcenschutzes deutlich von Vorteil.

Die Verarbeitung der geschlachteten Tiere erfolgt sehr ausdifferenziert. Entsprechend können die Schlachtrückstände und hier insbesondere Knochen der Geflügel und Schweine von Rinderknochen getrennt gehalten und einer Verwertung in der Futtermittelindustrie zugeführt werden. Da es sich bei diesen nicht um Risikomaterial nach Kategorie K1 handelt, steht für diese eine Verwertung von **Fleischknochenmehl** als Futter- und Düngemittel offen.

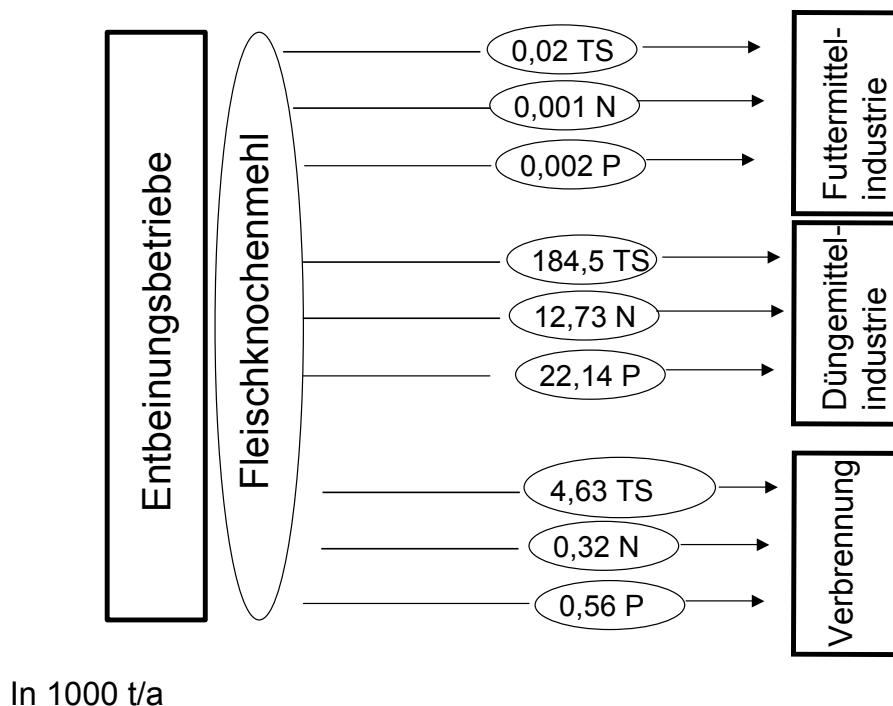


Abbildung 7-6: Stoffflüsse für Fleischknochenmehl [STN 2005]

Wie man aus den Stoffflüssen in Abbildung 7-6 ersehen kann, wird Fleischknochenmehl gezielt für eine Verwertung in der Düngemittelindustrie erzeugt. Ein kleinerer Anteil geht in die thermische Verwertung. Bei der anteiligen Verbrennung dürfte es sich, wie im Prinzip bei allen Produkten, generell um aus verschiedenen Gründen nicht vermarktbar Teilmen gen handeln. Über die Verbrennung wird jedoch zumindest der energetische Wert dieses Stoffstroms genutzt. Über diesen Teilstrom werden nur etwa 555 t P einer Nutzung entzogen.

Aus dieser groben Übersicht lässt sich kein Optimierungspotenzial für Fleischknochenmehl erkennen. Alle Mengen, die sich aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen nicht sinnvoll stofflich verwerten lassen, werden zumindest energetisch genutzt.

Das Bestreben, einen möglichst hohen Anteil Knochen einer stofflichen Nutzung zuzuführen, ergibt sich aus dem vergleichsweise hohen Gehalt an Phosphor [Dichtl 2005]. Aufgrund seiner wirtschaftlichen Bedeutung wird dieses Produkt zu Lasten des Tiermehls im Mengenaufkommen eher ansteigen (siehe dort).

Als **Tiermehl** wird das Produkt bezeichnet, das in Tierkörperbeseitigungsanstalten nach Abtrennung der Tierfette zur Verwertung oder Entsorgung anfällt. Tiermehl wurde bis zum Verbot März 2001 als Rohstoff in der Futtermittelindustrie eingesetzt. Wie aus Abbildung 7-7 ersehen werden kann, hat sich die Entsorgung seit dem deutlich gewandelt. Dies war darin begründet, dass innerhalb kürzester Zeit neue und aus Sicht des Schutzes einer Ausbreitung von BSE sichere Entsorgungswege gefunden werden mussten. So wurden vor allem bei Kraftwerken und Zementwerken die Möglichkeiten geschaffen, das Tiermehl zu verbrennen.

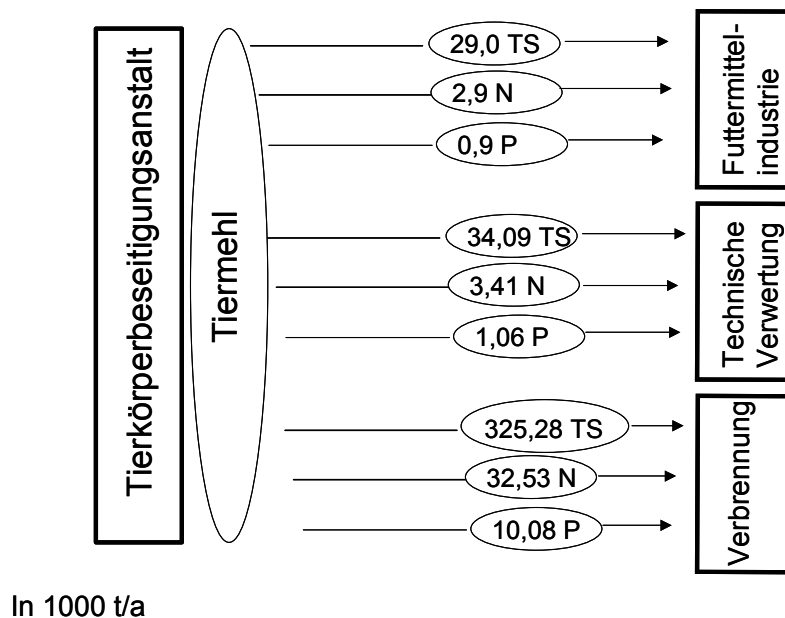


Abbildung 7-7: Stoffflüsse für Tiermehl [STN 2005]

Mit dem Einsatz in Kraft- und Zementwerken geht Phosphor für eine Nutzung verloren. Beim Einsatz in Zementwerken geht dieser Stoff in den Klinker ein, beim Einsatz in

Kraftwerken verbleibt Phosphor in der Asche als Verbrennungsrückstand. Diese Asche wird entweder auf Deponien abgelagert oder ober- und unterirdisch als Baustoff eingesetzt. Wie einer Aufstellung aller Abfallmengen mit Phosphorpotenzial entnommen werden kann [Dichtl 2005], stellt Tiermehl etwa 10 % dieses Potenziales dar. Auch aus energetischer Sicht bzw. aus Sicht des Klimaschutzes wäre ein möglichst hoher Anteil an stofflicher Verwertung sinnvoll, dem allerdings der Seuchenschutz entgegensteht. Werden die nicht stofflich verwertbaren Anteile thermisch als Brennstoff genutzt, besteht aus Sicht des Klimaschutzes kein größeres Optimierungspotenzial.

Aus dieser groben Übersicht lässt sich ein Optimierungsbedarf für die Entsorgung von Tiermehl erkennen, um den erheblichen P-Stofffluss in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen.

7.1.2 Identifizierung relevanter Stoffströme für Tiermehl

Wie aus den Ausführungen in Kapitel 7.1.1 deutlich wurde, stellt Tiermehl den Stoff aus dem Bereich der Fleischerzeugung dar, der aus Sicht der Schonung der Ressource Phosphor ein deutliches Optimierungspotenzial enthält. Wie ausgeführt, musste für Tiermehl mit dem Jahr 2001 innerhalb kürzester Zeit ein neuer Entsorgungsweg gesucht werden. Aus Gründen des Seuchenschutzes wurde das Tiermehl ab diesem Zeitpunkt zunächst ausschließlich thermisch behandelt und als Brennstoff vor allem in der Zementindustrie eingesetzt. Da die Zementherzeugung saisonalen Schwankungen unterliegt, werden Teilmengen auch in Kraftwerken und anderen Verbrennungsanlagen eingesetzt. Diese Entsorgungssituation spiegeln die durch die Servicegesellschaft Tierische Nebenprodukte mbH [STN 2005] dokumentierten Mengenströme für das Jahr 2004 wider.

Nach Auskunft der Vertriebsgemeinschaft Deutscher Fleischmehlfabriken [vdf 2005], einer der drei Vermarkter von Tiermehl in Deutschland hat sich die Situation seit den Jahren 2003/2004 jedoch wieder verändert. Seit diesem Zeitpunkt muss das Material nach den genannten Risikokategorien ab Anfallstelle getrennt gehalten werden. Dies ermöglichte es grundsätzlich, das Risikomaterial der Kategorie 1 separat zu erfassen und Material der Kategorie 2 wieder einer stofflichen Verwertung zuzuführen.

Mittlerweile werden nach Auskunft der Vertriebsgemeinschaft [vdf 2005] bereits 80 % des aus Material der Kategorie 2 erzeugten Tiermehls wieder stofflich verwertet und

zwar direkt als organischer NP-Dünger oder als Co-Substrat von Biogas und Kompostierungsanlagen, wobei auch hier der Vergärungsrückstand und damit das gesamte Phosphor als Düngemittel eingesetzt wird. Die direkte Verwendung als Düngemittel erfolgt wohl vor allem auf den großen Stoppel-Ackerflächen Ostdeutschlands mit der Auflage einer sofortigen Einarbeitung. Die Komposte oder Vergärungsrückstände dürften ebenfalls in der Landwirtschaft oder aber im Landschaftsbau eingesetzt werden. Diese stoffliche Verwertung wird schon allein aus betriebswirtschaftlicher Sicht gestützt. Während für die energetische Nutzung eine Zuzahlung erforderlich ist, wird das Tiermehl für eine stoffliche Verwertung kostenneutral oder mit möglichst geringen Aufschlägen abgegeben [vdf 2005].

Auch wenn seitens der Vertriebsgemeinschaft keine aktuellen Statistiken vorgelegt werden konnten, aus denen diese Veränderung in den Mengenströmen hätte nachvollzogen werden können, erscheint der grundsätzliche Trend plausibel.

Aufgrund der Ausdifferenzierung der Fleischwirtschaft ist es möglich, einen erheblichen Anteil der Schlacht- und Verarbeitungsabfälle nach Tierarten getrennt zu halten, so dass nach Auskunft der vdf [2005] als mittelfristiges Ziel wieder der Einsatz als Futtermittel angestrebt wird, bspw. Tiermehl aus Geflügelabfällen in der Schweinehaltung und Tiermehl aus Schweineabfällen in der Geflügelhaltung. Geflügelfleischmehl wurde 2004 bereits vollständig zu Futtermittel verwertet [STN 2005]. Dies ist aus Sicht der Schonung der Ressource Phosphor günstig. Aspekte wie artgerechte Tierhaltung, Tiergesundheit etc. sind im Rahmen dieses Projektes nicht Gegenstand der Betrachtungen.

Es verbleibt demnach zumindest das Tiermehl aus Rinderschlachtungen oder vor allem kleinen Anfallorten wie bspw. Metzgereien, in denen keine Getrennthaltung nach Tierarten möglich ist, das als K1-Material auch zukünftig weiterhin thermisch entsorgt werden muss. Für diesen Biomassestrom lassen sich gegenüber der derzeitigen Entsorgung aus Sicht der Ressourcenschonung prinzipiell verschiedene Ansätze einer Optimierung diskutieren. Sie erweisen sich nicht alle als praktikabel:

1. Getrennthaltung:

Knochenanteile werden vom übrigen Fleischbrei getrennt gehalten bzw. aus diesem gemischt angelieferten Material separiert. Dies hätte den Vorteil, dass mit den Knochen ein auf Phosphor optimierter Teilstrom erzeugt werden würde.

Nach Auskunft eines Verarbeiters [SÜPRO 2006] ist dies jedoch nicht praktikabel. Nur über einen gewissen Knochenanteil lässt sich der Fleischbrei mahlen und in Tierfett und Schilfer auftrennen.

2. (Chemischer) Aufschluss:

Aufschluss des gesamten Fleischbreis, Lösung von Phosphor und anschließende Fällung.

Der Aufschluss wäre sehr aufwändig, der gesamte Verarbeitungsprozess in den Tierkörperverwertungsanlagen müsste umgestellt werden. Es werden zudem negative Folgen für die nachfolgenden Prozesse und hier insbesondere für das separierte Tierfett befürchtet, auf dessen Qualität angesichts der Mengenbedeutung und der günstigen Erlössituation besonders geachtet werden muss. Nach Auskunft eines befragten Verarbeiters [SÜPRO 2006] ist ein derartiger Ansatz nicht praktikabel.

3. Optimierte Entsorgung von Tiermehl

Gegenüber dem Status-Quo einer Entsorgung vor allem über Zementwerke könnte Tiermehl auch zusammen mit kommunalen Klärschlämmen in Klärschlammverbrennungsanlagen eingesetzt oder gesonderten Tiermehlverbrennungsanlagen verbrannt werden. Tiermehlasche weist einen deutlich höheren P-Gehalt als Klärschlammasche auf und ist zudem deutlich geringer mit Schadstoffen belastet.

Der letztgenannte Optimierungsansatz wird für die Tiermehlmengen aufgegriffen und bilanziert, die sich auch zukünftig nicht als Düngemittel oder Futtermittel vermarkten lassen. Nach Auskunft der Fa. SÜPRO [2006] liegt der Anteil K1-Material bei etwa 20 %. Für die Bilanzierung wird daher eher konservativ angenommen, dass sich etwa 50 % des gesamten Tiermehlaufkommens auch mittelfristig nicht als Düngemittel oder Futtermittel verwerten lassen.

7.1.3 Szenario: Nutzung des Phosphors in Tiermehl

7.1.3.1 Szenarioaufbau und Systemgrenzen

Nach diesen Überlegungen werden für etwa 203.600 Jahrestonnen Tiermehl folgende Varianten diskutiert:

A Einsatz in der Zementindustrie als Status-Quo der Entsorgung

B Mitverbrennung in einer Monoklärschlammverbrennung; Stromerzeugung und Aufbereitung (Sinterung) der Asche

C Monoverbrennung an einer Tierkörperverwertungsanlage (TBA) und Lösung des P aus der Asche

Der Einsatz in der Zementindustrie (**A**) zielt allein auf den nutzbaren Energieinhalt des Tiermehls ab. Der Heizwert wird mit 17 MJ/kg angesetzt. Die Zementindustrie setzt in den meisten ihrer Standorte traditionell auf den Einsatz von verschiedenen Abfällen als Brennstoffsubstitut. Die Auswahl dieser Sekundärbrennstoffe (SBS) erfolgt nach deren Eigenschaften, deren Handhabbarkeit sowie vor allem auch nach der Marktlage, d.h. nach dem Angebot sowie der für die Brennstoffübernahme erzielbaren Erlöse bzw. verbleibenden Kosten. Gerade der letzte Aspekt kann dazu führen, dass Abfälle oder zu Brennstoff aufbereitete Abfälle in Konkurrenz zu einander stehen. Trotzdem wird für die Bilanzierung davon ausgegangen, dass mit Übernahme des Tiermehls primäre Energieträger, und zwar Kohle, ersetzt werden können.

Eine direkte Verwertung der Asche als Düngemittel erweist sich als nicht zielführend, da die Hydroxylapatite nur eine geringe P-Verfügbarkeit für die Pflanzen [Bihl 2004] aufweisen. Da Tiermehlaschen nur eine geringe Schadstoffbelastung [Datenbank LUA NRW] haben, bietet sich bei einer Monoverbrennung (**C**) die chemische Lösung von Phosphor aus der Asche an, da hier das Problem der parallelen Lösung von Schwermetallen weniger bedeutend ist. Für die Bilanz wurde unterstellt, dass die Verwertung des gewonnenen Phosphors nicht in der Landwirtschaft sondern industriell erfolgt und den Einsatz von Rohphosphat substituiert. Die bei der Verbrennung anfallende Überschussenergie könnte in den Tierkörperverwertungsanlagen zur Dampferzeugung verwendet werden, der zur Sterilisierung des Eingangsmaterials d.h. des Fleischbreis benötigt wird. Für diesen Prozess wird bereits auf Tierfett zurückgegriffen, das aber verstärkt im Bereich Biodiesel eingesetzt werden könnte. Für die Bilanz wird daher

unterstellt, dass mit der Dampferzeugung aus Tiermehlverbrennung Erdgas substituiert werden könnte.

Eine weitere Variante der Rückgewinnung der Ressource P ergibt sich über die Mitverbrennung (**B**) in Monoklärschlammverbrennungsanlagen. Erzeugt wird ausschließlich Strom, der mit entsprechenden Umweltauswirkungen ansonsten durch den deutschen Kraftwerkspark erzeugt werden müsste. Aufgrund der Schadstoffbelastung der Klärschlämme sowie der schlechten Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors ist eine direkte Nutzung der Asche auf Böden nicht möglich. Dieses Entsorgungsszenario wird daher in Verbindung mit einer Sinterung der Asche bilanziert, die eine teilweise Entfrachtung von Schwermetallen ermöglicht und zugleich die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors erhöht [Kley 2005].

Tabelle 7-4: Datengrundlage zur Bilanzierung der Tiermehlverwertungsoptionen

Szenario A		Quelle
Zementindustrie	Hu 17,1 MJ/kg; substituierter Brennstoff: 50/50 Braunkohle und Steinkohle	Datenbank ifeu
Szenario B		
Co-Verbrennung in Klärschlammverbrennungs- anlage	Substitution Stromproduktion dt. Kraftwerkssplit: 26,1 % Braunkohle, 22,8 % Steinkohle, 12,6 % Gas, 1 % schweres Heizöl, 28,4 % Kernkraft, 9,2 % regenerativ	Daten der AG Energiebi- lanzen [DIW 2005]
Sinterung der Asche: Erhitzung auf 900°C; Zugabe von Magnesiumsul- fat; direkte Nutzung als Düngemittel;	Verbleibender Anteil Schwermetall im Produkt: Cd 37,1 %, Cr 55,7 %, Cu 16,2 %, Hg 16,7 %, Ni 32,7 %, Pb 4,9 %, Zn 6,2 %	[Kley 2005]
Szenario C		
Monoverbrennung	Hu 17,1 MJ/kg; Dampferzeugung; Substitution von Erdgas 420 kg/t Tiermehl	Datenbank ifeu
Rücklösung von P	Erfolg 90 %; 0,48 t Schwefelsäure/t Asche; 0,3 t Natronlauge/t Asche	[Schaum 2005]

Hierbei handelt es sich um eine thermochemische Aufbereitung von Aschen zu Mehrnährstoffdüngern, d.h. eine Anreicherung mit Kalium, um ein vernünftiges bzw. gebräuchliches P-K-Verhältnis (12/20) zu bekommen, wie es bei mineralischen Düngemitteln Standard ist. In diesem Verfahren wird die Asche aus einer Mono-verbrennung erhitzt (900°C), wobei unter reduzierenden Bedingungen bestimmte

Metalle ausgetrieben werden. Der Phosphor ist zu fast 100 % zitronensäure- und damit pflanzenverfügbar. Derzeit existiert eine Technikumsanlage in Leoben, eine Pilotanlage wird an einer großen Klärschlammmonoverbrennung in Österreich im Jahre 2007 in Betrieb gehen (Produktion 11.000 t Mehrnährstoffdünger). Auch in Bayern ist eine derartige Anlage für den Entsorgungsmaßstab in Planung [Kley 2005].

7.1.3.2 Ergebnisse der Szenariorechnung

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Bilanzergebnisse für die verschiedenen Optionen der Verwertung von Tiermehl angegeben. Bei dieser Verwertung ist neben den Umweltwirkungen und der Frage der Schonung fossiler Ressourcen auch die Frage der Möglichkeiten einer Rückgewinnung von Phosphor zu beachten. Entsprechend sind die mit der P-Rückgewinnung verbundenen Effekte getrennt ausgewiesen.

In den nachfolgenden Graphiken sind die mit einer Verwertung verbundenen Umweltlasten als Balken nach oben aufgetragen, die erzielbaren Substitutionserfolge bzw. Umweltentlastungserfolge entsprechend nach unten. In blau sind die „Netto-Ergebnisse“ dargestellt, d.h. die Ergebnisse nach Verrechnung der Lasten und der Entlastungserfolge. Die Darstellung unterscheidet zudem nach den unterschiedlichen Beiträgen verschiedener Sektoren an den Gesamtlasten bzw. Entlastungserfolgen.

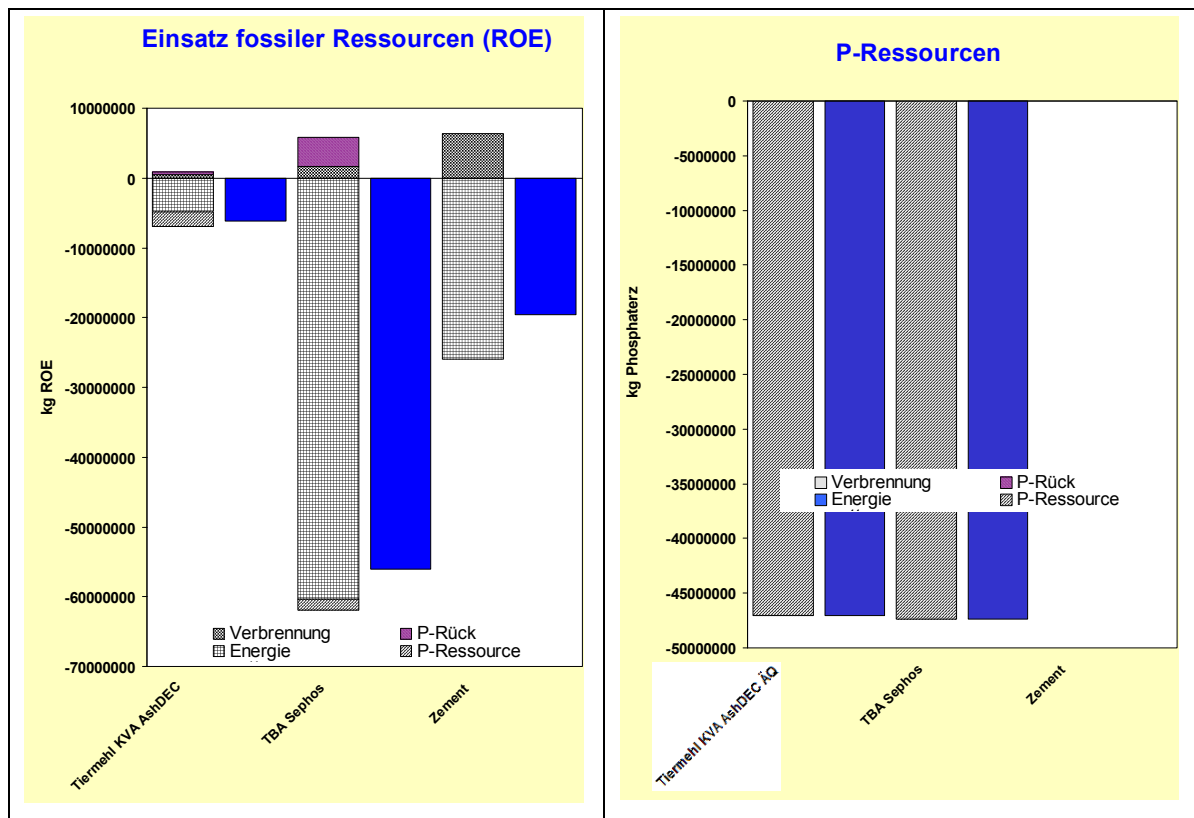


Abbildung 7-8: Bilanzierungsergebnisse für die verschiedenen Arten der Verwertung von 203.600 Jahrestonnen Tiermehl - Ressourcenschonung

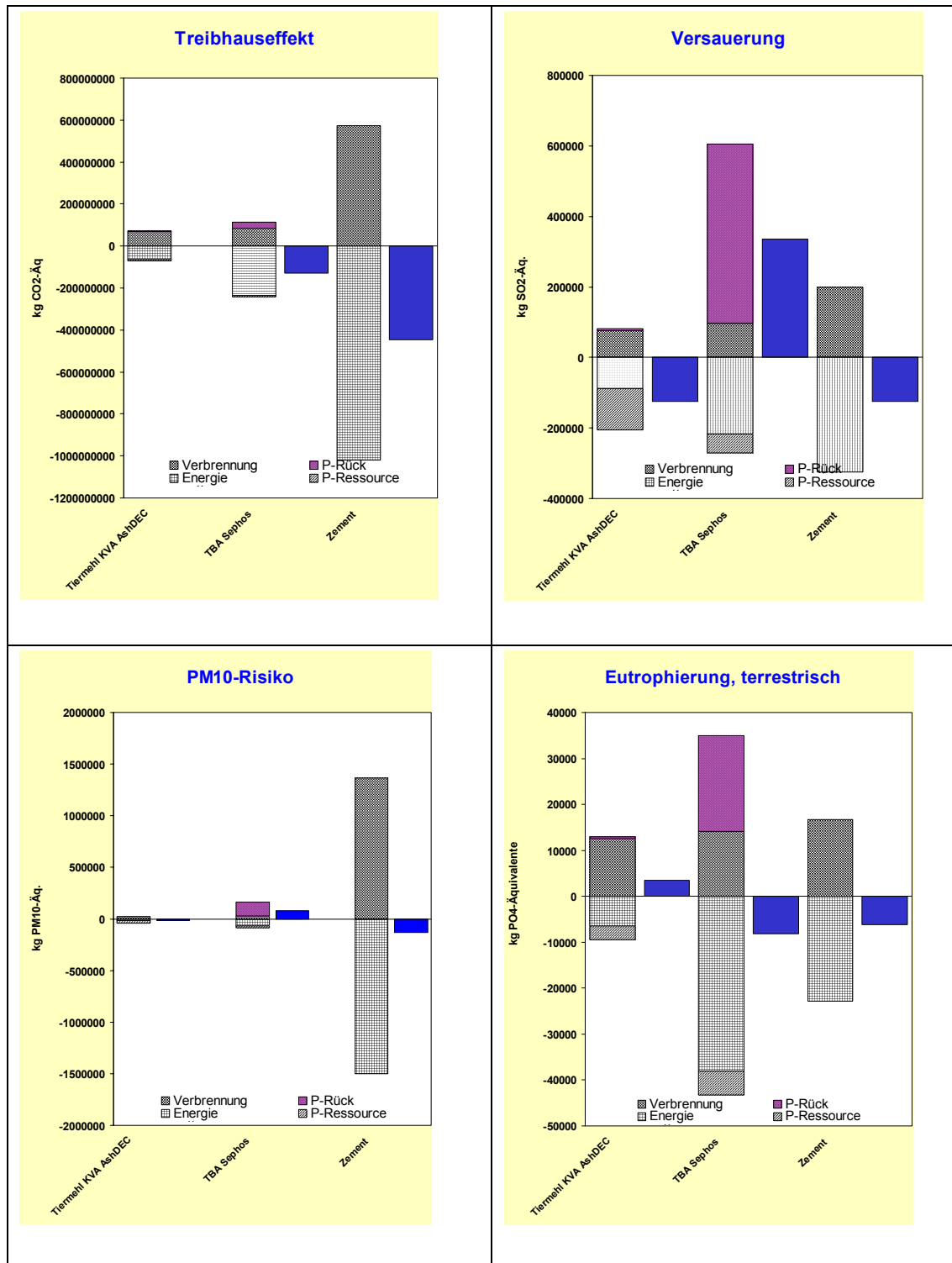


Abbildung 7-9: Bilanzierungsergebnisse für die verschiedenen Arten der Verwertung von 203.600 Jahrestonnen Tiermehl – weitere Umweltwirkungen

Die Ergebnisse in der Frage der Schonung fossiler Ressourcen liegen weit auseinander. Bei den als Alternativen zum Einsatz in Zementwerken diskutierten Verwertungs-

ansätzen ergibt sich dies aus deutlich unterschiedlichen Substitutionserfolgen für die Energieerzeugung. Beim Einsatz in der Klärschlammverbrennungsanlage wurde nur eine Stromgutschrift unterstellt, während bei der Monoverbrennung in einer Tierkörperbeseitigungsanlage eine Auskopplung als Wärme und damit ein wesentlich höherer energetischer Wirkungsgrad unterstellt werden kann. Im Einzelfall mag auch eine umfassende Wärmenutzung an Klärschlammverbrennungsanlagen möglich sein. Je nach Art der Energieerzeugung bzw. -nutzung lassen sich die Ergebnisse beider Entsorgungsansätze deshalb zwischen diesen beiden Extremen ansiedeln. Auffällig ist die Beanspruchung fossiler Ressourcen durch die Erzeugung und Bereitstellung der benötigten Mengen Schwefelsäure.

In der Frage der Schonung der Ressource Phosphor lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Entsorgungsansätzen Mono- und Co-Verbrennung in der KVA (Klärschlammverbrennung) erkennen. Bei der Mitverbrennung im Zementwerk ist Phosphor als Ressource verloren.

Da im Falle der Mitverbrennung in Zementwerken Braun- und Steinkohle substituiert werden kann, ist die Option eines Einsatzes in Zementwerken aus Sicht des Klimaschutzes gegenüber den diskutierten Alternativen vergleichsweise günstig. Bei den diskutierten Alternativen wird Erdgas bzw. fossile Energieträger gemäß dem Strommix substituiert.

Bei allen weiteren diskutierten Umweltwirkungsaspekten beeinflussen die mit der Bereitstellung von Schwefelsäure verbundenen Umweltlasten (Szenario C) deutlich das Ergebnis des Variantenvergleichs. Unter dem Gesichtspunkt Versauerungspotenzial, PM₁₀-Emissionen führt dies dazu, dass die Option Monoverbrennung verbunden mit einer Rücklösung von P aus der Asche im Vergleich zu den Entsorgungsalternativen deutlich am schlechtesten abschneidet. Zudem überwiegen die mit der Entsorgung verbundenen Umweltlasten die Substitutionserfolge.

7.2 Rückstände aus der Lebensmittel- und Genussmittelindustrie

7.2.1 Stoffströme der Rückstände aus der Lebensmittel- und Genussmittelindustrie

Bei der Lebens- und Genussmittelindustrie handelt es sich um ein breites Spektrum an erzeugten Nahrungs- und Genussmitteln und damit auch Verarbeitungstechniken, an eingesetzten landwirtschaftlichen Rohstoffen sowie anfallenden Produktionsrückständen, Nebenprodukten oder biogenen Abfällen.

Ein Teil der biogenen Verarbeitungsrückstände sind die festen Rückstände aus der Herstellung von Getränken aus Obst und anderen landwirtschaftlichen Erzeugnissen. Diese Stoffe sind die bei der Entsaftung verbleibenden festen Rückstände wie bspw. Apfeltrester, Obsttrester oder Rebentrester. Weitere Rückstände sind aber auch Schalen von Zitrusfrüchten, so in Deutschland die Früchte selbst und nicht Konzentrate verarbeitet werden, oder Putzreste. Nach [IE 2005] kann man mit einem spezifischen Rückstandsaufkommen von 0,25 kg pro Liter Saft rechnen.

Bei der Herstellung zu Trink-Alkohol oder auch der Herstellung von bspw. Ethanol als Treibstoff fallen Schlempen als flüssige Abfälle mit Trockensubstanzgehalten von <10 % an. Genannt seien hier bspw. Kartoffelschlempe, Weizenschlempe oder Melasseschlempe. Bei der Milchverarbeitung fällt Molke als Rückstand an. [IE 2005] gibt für Schlempen ein Aufkommen von 780.000 m³ an und für Molkereien ein spezifisches Aufkommen von 2 m³ Reststoff pro m³ angelieferter Milch. Nach Angaben der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle ZMP [2005] wurden im Jahr 2005 27.700.000 t Milch an Molkereien in Deutschland angeliefert.

Auch bei der Herstellung von Ölen aus unterschiedlichen pflanzlichen Rohstoffen fallen die nach der Pressung und Extraktion verbleibenden Pflanzenrückstände als Produktionsabfälle an. Genannt seien hier bspw. Rapsextraktionsschrot, Rizinusschrot, Sonnenblumenschrot oder Ölsaatenrückstände.

Bei der Herstellung von Bier fallen unterschiedliche Rückstandsfraktionen an, wobei die Treber mit 75 %-80 % mengenmäßig die größte Fraktion stellen. Darüber hinaus fallen noch Hefe-, Heiß- und Kühltrub, Kieselgur sowie Malzstaub als Rückstand an.

Landwirtschaftliche Produkte werden zu Lebensmitteln bzw. Fertigprodukten weiterverarbeitet. Dabei verbleiben Putzrückstände und Schalen bzw. andere Pflanzenteile zur Entsorgung. Genannt seien die Konservenherstellung, die Kartoffelverarbeitung oder Getreidemöhlen. Bei der Zuckerherstellung sind es Rübenschnitzel und Melasse, die als Rückstände anfallen.

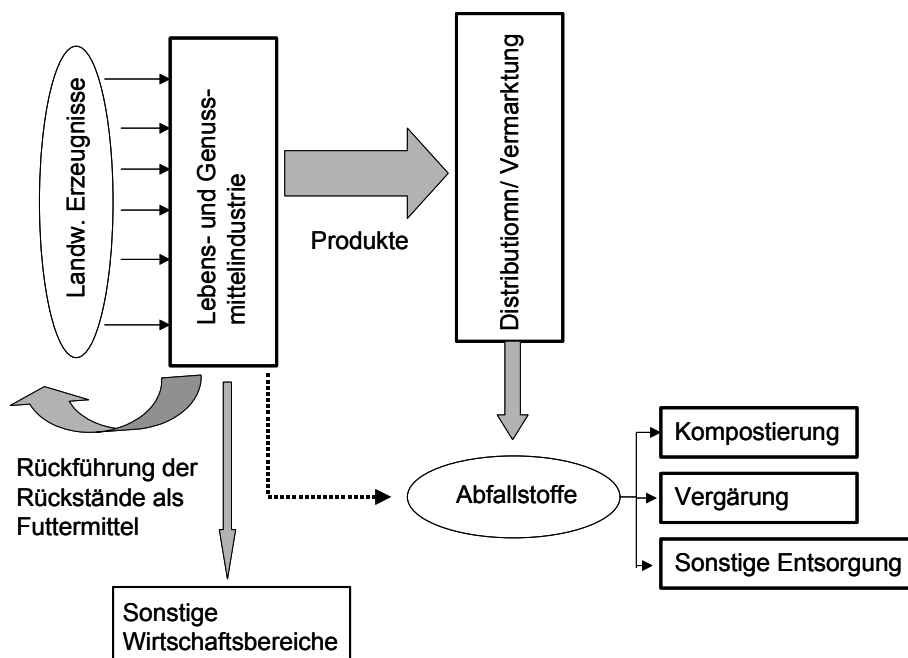


Abbildung 7-10: Übersicht über die Massenströme bei der Lebens- und Genussmittelindustrie

Bei all diesen Produktionsrückständen handelt es sich um Stoffe, die bei bekannter gleichbleibender Zusammensetzung bzw. Qualität als Massenabfälle anfallen. Ihre Verwertung bzw. Entsorgung fußt daher auf traditionellen wohl etablierten Strukturen. In aller Regel handelt es sich bei ihnen um eher unbeeinflusste Pflanzenrückstände, so dass der Einsatz als Futtermittel naheliegend ist. Sie weisen zudem oft hohe Energie- und Proteingehalte auf, was sie für die Tierernährung wertvoll macht. Bei den meisten der genannten Stoffe handelt es sich daher um anerkannte Futtermittel, die in Futterwerttabellen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft DLG parallel zu landwirtschaftlich erzeugten Futtermitteln aufgeführt sind. Genannt sei hierfür als Beispiel die Futterwerttabelle für Schweine [DLG 1991].

Einige weitere der genannten Produktionsrückstände wie bspw. Molke und Bierhefe werden auch für die menschliche Ernährung eingesetzt oder gelangen in die Kosmetikindustrie. Rückstände aus der Weinherstellung (Trester) werden wegen der noch relativ hohen Gehalte an Zucker bevorzugt für die Herstellung von Tresterbränden bzw. Tresterweinen verwendet. Auch die Trester aus der Fruchtsaftherstellung werden als Grundstoff für die Alkoholproduktion oder als Viehfutter eingesetzt. Apfeltrester gelangt vor allem in die Pektinherstellung.

Über das Mengenaufkommen an derartigen Reststoffen und deren Verbleib liegen nur wenige aktuellere Informationen [IE 2004] [IE 2005] vor. Neben den Veröffentlichungen der Wirtschaftsverbände gibt es einige Veröffentlichungen zu einzelnen Reststoffen [Endreß 2000] [Flachowsky 1996] [Fox 1991] [MTE 1997] [MTE 1998] etc., die Eingang in eine Studie des ifeu-Instituts [Vogt 2002] zur ökologischen Bewertung der Entsorgung unterschiedlicher biogener Abfallstoffe gefunden haben.

Derartige Produktionsrückstände aus der Lebens- und Genussmittelindustrie fallen nur dann als Abfall zur Entsorgung an, wenn sie bspw. wegen Überlagerungsproblemen nicht mehr als Rohstoff genutzt werden können. Während ihre Verwendung als Rohstoff mit Erlösen verbunden ist, ist ihre Entsorgung als biogener Abfall tendenziell mit Kosten verbunden. Die Verwendung als Rohstoff bspw. in der Landwirtschaft ist ökologisch sehr vorteilhaft, wie entsprechende umfassende Ökobilanzen [Vogt 2002] [ifeu 2001] eindrücklich zeigen konnten. Die Stoffe verfügen bspw. über den Nährwert über einen hohen Nutzen, der anderweitig erst aufwändig (landwirtschaftlich) hergestellt werden müsste.

Ist diese Verwendung im Einzelfall nicht möglich, gelangen sie in aller Regel als Co-Substrat in eine landwirtschaftliche Vergärungsanlage. Über die derart entsorgten Mengen können keine belastbaren Angaben gemacht werden.

Eine weitere Gruppe stellen verpackte Lebensmittel dar, die nach Havarien oder wegen Ablauf der Haltbarkeitsfrist entsorgt werden müssen. Auch Backabfälle werden bspw. gerne als Futtermittel eingesetzt, was auch hier gegenüber allen Alternativen aus ökologischer Sicht bzw. aus Sicht des Ressourcenschutzes [ifeu 2001] von Vorteil ist.

Tabelle 7-5: Stoffdaten verschiedener Abfälle aus der Lebensmittelindustrie [Oechner 1998] [Öko-Institut 2004] [Dichtl 2005] [IE 2005b]

	Feuchtmasse in t	TS-Gehalt	oTS in % TS	Nges. in % TS	P in % TS	Gasertrag (m ³ /t FM)
Kartoffelschlempe	780.000	5,5 %	80 %	5,6 %	0,39 %	36-42
Apfeltrester	250.000	25 %	86 %	1,1 %	0,13 %	145-150
Biertreber	2.800.000	25 %	66–95 %	4–5 %	0,65 %	105-130
Melasse	900.000	80 %	95 %	1,5 %	0,13 %	290 - 340

Auch bei diesen Abfällen kann davon ausgegangen werden, dass sie nur dann in die Abfallwirtschaft gelangen, wenn im Einzelfall eine anderweitige Nutzung bspw. als Rohstoff für die Landwirtschaft nicht infrage kommt. Im Zweifelsfall nach einer Entpackung gelangen diese dann in Abhängigkeit vom Wassergehalt in Vergärungs- oder Kompostierungsanlagen. Neben dem aus der Energieerzeugung resultierenden positiven Umwelteffekt werden die im Kompost oder Gärrückstand verbleibenden Pflanzennährstoffe auf Ackerflächen rückgeführt und substituieren dort die Anwendung von bspw. Mineraldünger.

7.2.2 Potenziale: Rückstände aus der Lebens- und Genussmittelindustrie

Wie aus den obigen Ausführungen deutlich wird, werden die bei der Produktion von Lebens- und Genussmitteln anfallenden biogenen Produktionsrückstände aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen sinnvoll genutzt. Sie stellen wichtige Rohstoffe in der Landwirtschaft und anderen Wirtschaftsbereichen dar und müssen nur im Einzelfall Vergärungs- und Kompostierungsanlagen übergeben werden. Auch hier kann davon ausgegangen werden, dass die für eine Vergärung eher geeigneten Stoffe (hoher Wassergehalt und/oder hohes Biogaspotenzial) auch bereits entsprechend energetisch genutzt werden.

Ansonsten fallen kleinere Mengen verpackter Lebensmittel über den Weg der Distribution zur Entsorgung in der Abfallwirtschaft an. Es handelt sich um überlagerte Nahrungsmittel oder Rückstände aus Havarien. So es sich lohnt, werden diese entpackt und ebenfalls über Vergärungs- und Kompostierungsanlagen verwertet. Auch hier lässt sich kein relevantes Optimierungspotenzial erkennen.

7.3 Alttextilien

Der Biomasseanteil in Alttextilien setzt sich aus Naturfasern wie bspw. Wolle, Baumwolle und Viskose zusammen, hinzu kommt Leder.

7.3.1 Aktuelle Stoffströme und Potenziale: Alttextilien

In Kern [2001] wird der Biomasseanteil in Alttextilien auf 50 % geschätzt, keine abgesicherten Aussagen können über das biogene Abfallpotenzial von Alttextilien gemacht werden. Dies rührt zum einen daher, dass die Sammlung von Alttextilien weitgehend außerhalb der klassischen Abfallwirtschaft erfolgt und von karitativen Einrichtungen und gewerblichen Betrieben entweder direkt an den Haushalten oder über Container im Straßenraum durchgeführt wird. Diese Mengen tauchen in den Abfallstatistiken der öffentlich-rechtlichen Entsorger und damit auch der Bundesländer nicht auf. Noch weniger ist der Anteil an Naturfasern und Leder bekannt, da Mischgewebe (und auch Ausrüstungsmittel) eine detaillierte Erfassung erschweren.

Durch den Fachverband Textil-Recycling [2005] wurde im Rahmen einer empirischen Analyse durch die Forschungsstelle für Allgemeine und Textile Marktwirtschaft in Münster ermittelt, dass mit 716.000 Jahrestonnen etwa 43 % aller textilen Endprodukte über die getrennte Sammlung erfasst werden. Je nach Textil sind die Sammelquoten jedoch unterschiedlich. So werden mit 580.000 t zwei Drittel der Bekleidungstextilien erfasst, knapp 52.000 t Haustextilien stellen 37 % des Aufkommens dar. Bei Heimtextilien werden mit 84.000 t nur etwa 19 % des Potenzials erfasst. Die Quoten lassen sich errechnen, indem man die getrennt erfassten Mengen der Inlandverfügbarkeit (d.h. die verkaufte Menge, abzüglich Export) an textilen Produkten gegenüber stellt, wobei technische Textilien nicht berücksichtigt sind.

Tabelle 7-6: Übersicht über die Entsorgung der Alttextilien [FV Textilrecycling 2005]

	Inlandsverfügbarkeit	Sammelmenge	Quote
Bekleidungstextilien	870.000 t/a	580.000 t/a	67 %
Heim – und Haustextilien	580.000 t/a	136.000 t/a	23 %

Von den 716.000 t getrennt erfassten Textilien werden nach Angaben des Fachverbandes 50 % einer Weiterverwendung in ihrer ursprünglichen Form zugeführt. Knapp

17 % werden zu Putzlappen aufbereitet, weitere 22 % gelangen als Reißspinnstoffe in Recyclingartikel wie beispielsweise Autofußmatten. Nur etwa 10 % des Sammelaufkommens werden demnach als Abfall entsorgt. Bei diesem Abfallteilstrom handelt es sich nicht nur um überschüssige, nicht vermarktbar Textilen, sondern auch um Fehlwürfe, d. h. Abfallbestandteile anderer Herkunft und Zusammensetzung.

Nach Angaben des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz [LfU 2003] weisen Textilien einen P-Gehalt von 0,045 % der TS und einen N-Gehalt von 3,429 % der TS auf. Diese Gehalte sind für diesen biogenen Abfallstoff und seine Verwertung nicht von Relevanz.

7.3.2 Möglichkeiten einer Optimierung des Biomassestroms

Wie aus der obigen Aufstellung ersichtlich wird, erreicht die getrennte Sammlung von Textilien recht hohe Quoten. Dies gilt vor allem für die Bekleidungstextilien, für die die Sammelquote mindestens in der Größenordnung anderer Abfallstoffe liegt, die nicht auf Hol- sondern Bringsysteme aufbauen. Eine getrennte Erfassung von Haus- und Heimtextilien lässt sich kaum gegenüber dem dokumentierten Stand ausbauen.

Die getrennt erfassten Textilien werden zu 90 % einer auch aus Sicht der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen und des Klimaschutzes hochwertigen Verwertung zugeführt. Eine Weiterverwendung als Textil substituiert große Aufwendungen in der Landwirtschaft und der Textilproduktion. Es kann angenommen werden, dass diese Sortierreste aus der Aufbereitung von Alttextilien als Restabfall entsorgt werden und damit in Müllverbrennungsanlagen oder Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlagen gelangen.

Auch für den Textilienanteil, der nicht über die getrennte Sammlung erfasst werden kann, besteht kein Optimierungsbedarf. Diese Textilien befinden sich in der Restmülltonne oder aber im Sperrmüll. Sie werden demnach entweder in einer Müllverbrennungsanlage oder aber ggf. als heizwertoptimierter Stoffstrom in einer MBA energetisch genutzt.

7.4 Speiseabfälle

Bei Speiseabfällen handelt es sich um Großküchenabfälle, die nicht nur die pflanzlichen Rückstände beinhalten, sondern auch die nicht verzehrten Reste auf den Tellern. Die Abfälle wurden in der Vergangenheit erhitzt und anschließend flüssig in der Schweinemast eingesetzt. Dies ist nach Artikel 32 der Verordnung über Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte' in einer Übergangsvorschrift nur noch dieses Jahr zulässig.

7.4.1 Aktuelle Stoffströme und Potenziale: Speiseabfälle

Speiseabfälle werden entweder von Entsorgungsunternehmen über Tankfahrzeuge an Großküchen gesammelt und zu Schweinefutter weiter verarbeitet oder aber in ländlichen Regionen auch direkt durch die Schweinehalter gesammelt und verwertet. Es kann davon ausgegangen werden, dass in der Vergangenheit der überwiegende Anteil des Speiseabfallaufkommens über diesen Weg verwertet wurde. Erst im Laufe des Jahres 2006 erfolgt die Umstellung weg von der Verfütterung. Nach Angaben von Lang [1998] wurde mit 6 % nur ein kleiner Anteil der Speiseabfälle über Tierkörperverwertungsanlagen entsorgt. In dezentrale Anlagen der Landwirtschaft gelangten demgegenüber zum damaligen Zeitpunkt knapp 65 %. Die übrigen Mengen wurden in Spezialbetrieben der Entsorgungsindustrie zu Futtermittel verarbeitet.

Tabelle 7-7: Aufkommen und Stoffdaten für Speiseabfälle [Dichtl 2005] [Vogt 2002]

	Feuchtmasse t/a	TS-Gehalt	oTS der TS	Nges. an TS	P an TS	Biogasausbeute m ³ /kg oTS _{zu}
Speiseabfälle	358.000	11,9 %	85 %	1,33 %	0,55 %	0,55

7.4.2 Möglichkeiten einer Optimierung des Biomassestroms

Grundsätzlich unterliegen Speiseabfälle, die auch Anteile tierischer Herkunft enthalten, dem Tierkörperbeseitigungsrecht und sind auf dieser Grundlage zu entsorgen. Tierkörperverwertungsanlagen sind jedoch nicht für derart flüssige Abfälle ausgelegt. Auch würden bei größeren Mengenanteilen und einer gemeinsamen Behandlung mit

den Tierkörpern die Produkte Tierfett und Tiermehl leiden [Vogt 2002]. Es ist daher nicht zu erwarten, dass Speiseabfälle zusammen mit den anderen Biomassen in Tierkörperbeseitigungsanlagen eingesetzt werden.

Es ist eher zu erwarten, dass diese, wie auch die Schlachthofabfälle (Magen- und Darminhalte etc.), wegen des hohen Feuchtegehalts (12 % TS-Gehalt) aber auch wegen ihres hohen Biogaspotenzials zukünftig vor allem in Vergärungsanlagen eingesetzt werden. Schon Jaeger [1997] berichtete, dass Biogasanlagen zunehmend eine Konkurrenz zur Speiseabfallverwertung als Futtermittel darstellten. Ein Einsatz in Kompostierungsanlagen ist nicht möglich bzw. nicht sonderlich wahrscheinlich.

Es ist zu vermuten, dass die Speiseabfälle nach dem Fütterungsverbot nach einer entsprechenden Hygienisierung in vorhandenen Faulbehältern auf Kläranlagen, Vergärungsanlagen für Bioabfall aus Haushalten oder auch landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen als Co-Substrate eingesetzt werden. Auch die Monovergärung von Speiseabfällen ist mittlerweile Stand der Technik, eine der ersten Anlagen wurde in Mögglingen errichtet [GOA 1998].

Die spezifischen Biogaserträge werden sich verfahrensbedingt unter diesen Verwertungsoptionen, d.h. den verschiedenen Anlagentechniken und Hauptsubstraten, nicht wesentlich unterscheiden. Tendenziell ist ein Einsatz als Co-Substrat mit etwas höheren spezifischen Ausbeuten verbunden, soweit man dies aus entsprechenden wenigen Untersuchungen [Schmelz 1997] ableiten kann. Die Unterschiede sind aber nicht derart groß und die Erkenntnisse auch entsprechend wenig belastbar, dass sich daraus Empfehlungen ableiten ließen, Speiseabfälle aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen gezielt bestimmten Behandlungskonzepten innerhalb der Biogaserzeugung zuzuführen. Im Zweifel wesentlich entscheidender ist die Frage, in welchem Umfang das erzeugte Biogas verwertet wird [igw/ifeu 2003] und hier insbesondere die Frage, ob auch die Abwärme möglichst ganzjährig genutzt werden kann.

Mit der Wahl der Vergärungsart wird auch über die Verwertung des verbleibenden Behandlungsrückstandes entschieden.

- Bei einer Co-Vergärung in Faulbehältern von Kläranlagen fallen die Rückstände als kommunale Klärschlämme zur Entsorgung an. Sie werden nur zu einem Teil stofflich verwertet – der Anteil ist zu Gunsten einer thermischen Behandlung

rückläufig. Die Gehalte an Stickstoff und Phosphor sind in diesem Anteil als Pflanzennährstoff verloren (siehe Diskussion kommunale Klärschlämme).

- Erfolgt die Vergärung als Co-Substrat in einer landwirtschaftlichen Vergärungsanlage, werden die Behandlungsrückstände in vollem Umfang ohne weitere Verluste auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht. Da keine Entwässerung erfolgt, besteht auch kein weiterer Verlust an Pflanzennährstoffen.
- Erfolgt die Vergärung zusammen mit Biomüll aus Haushalten, werden die Pflanzennährstoffe teilweise auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht.

Mit Speiseabfällen sind aber nur 234 t Phosphor verbunden [Dichtl 2005]. Unabhängig von der aufgezeigten Art der Verwertung der Behandlungsrückstände sind daher keine gravierenden Einflüsse in der Frage der Rückgewinnung von Phosphor in den Wirtschaftskreislauf zu erwarten.

7.5 Bioabfall aus Haushalten

Bioabfall aus Haushalten wird getrennt erfasst und einer Verwertung zugeführt. Mögliche Verwertungswege sind die Kompostierung und die Vergärung von Bioabfällen. Die aktuellen Stoffströme und Potenziale sowie Möglichkeiten zu ökologischen Optimierungen werden im Folgenden dargestellt.

7.5.1 Aktuelle Stoffströme und Potenziale: Bioabfall

Das Bioabfallaufkommen ist seit Jahren nahezu konstant und erreicht etwa 3,5 Millionen Jahrestonnen [Statistisches Bundesamt 2005]. Seit 2002 werden neben den Abfällen aus der Biotonne in dieser Statistik auch Grünabfälle in Höhe von 3,8 Millionen Jahrestonnen genannt, die bis zu diesem Zeitpunkt als Garten-, Park- und Friedhofsabfälle und damit als Teil der sonstigen Siedlungsabfälle geführt wurden. Bei diesen Mengen ist demnach ungeklärt, welcher Anteil der Grünabfälle aus Privatgärten stammt bzw. von öffentlichen Grünflächen oder aus der Anlieferungen von Garten- und Landschaftsbaubetrieben.

In 77 % der entsorgungspflichtigen Körperschaften (ÖrE) werden Bio- und Grünabfälle flächendeckend oder zumindest in Teilgebieten separat erfasst [Kern, Raussen 2005]. Nach deren Auswertung der Abfallbilanzen der einzelnen Bundesländer beläuft sich

das Gesamtaufkommen auf etwa 73 kg/(E*a), wovon 52 % Bioabfälle und 48 % Grünabfälle sind. Die Unterschiede in den Sammelquoten zwischen West- und Ostdeutschland sind sehr groß, aber auch innerhalb einzelner Bundesländer weisen die Kommunen äußerst unterschiedliche Sammelquoten auf. Während bspw. in Baden-Württemberg durchschnittlich 130 kg/(E*a) Bioabfall gesammelt werden, waren es 2003 in Baden-Baden 420 kg/(E*a) [UVM 2004].

Bei diesen großen Spannbreiten der in den Statistiken dokumentierten Mengenangaben wird deutlich, dass das Bioabfallaufkommen sehr stark von dem Grünabfallaufkommen beeinflusst wird und hierbei immer ungeklärt ist, welche Anteile in der Praxis tatsächlich durch die Haushalte getrennt erfasst wurden und welche Anteile aus unterschiedlicher Herkunft (bspw. Pflege städtischer Parkanlagen oder Anlieferungen von Garten- und Landschaftsbaubetrieben) stammen. Die in den Statistiken dokumentierten Werte haben einen unterschiedlichen Bezug, teilweise werden nur die Mengen als Bioabfall erfasst, die auch tatsächlich über die Abfallentsorgung, insbesondere über die Biotonne ab Haushalt, abgefahren werden. Teilweise werden die Daten nur an den Entsorgungsanlagen als Anlieferungsmenge erhoben.

Selbst bei einem Vergleich der Zahlen für die ab Haushalt erfassten Bioabfälle zeigen sich deutliche Unterschiede im Aufkommen. Je nach Sammelsystem, verfügbarem spezifischem Behältervolumen und Größe der Müllgefäße sowie des Charakters des Sammelgebiets werden nicht nur Küchenabfälle, sondern auch Gartenabfälle über die Biotonne erfasst. Das Gartenabfallpotenzial schwankt stark in Abhängigkeit von der Bebauungsstruktur und der Jahreszeiten. Die tatsächlich über die Biotonne erfassten Mengen sind abhängig von dem zur Verfügung stehenden spezifischen Behältervolumen und der Gebührensatzung. Ist die Erfassung über die Biotonne gering, steigt in der Regel die Bedeutung der Eigenkompostierung [ifeu 1999].

Eine genaue Abgrenzung der Bioabfälle aus Haushalten gegenüber Biomassen anderer Herkunft (Grünabfälle) ist ebenso wenig möglich wie eine genaue Ableitung des Mengenaufkommens aus den Abfallstatistiken.

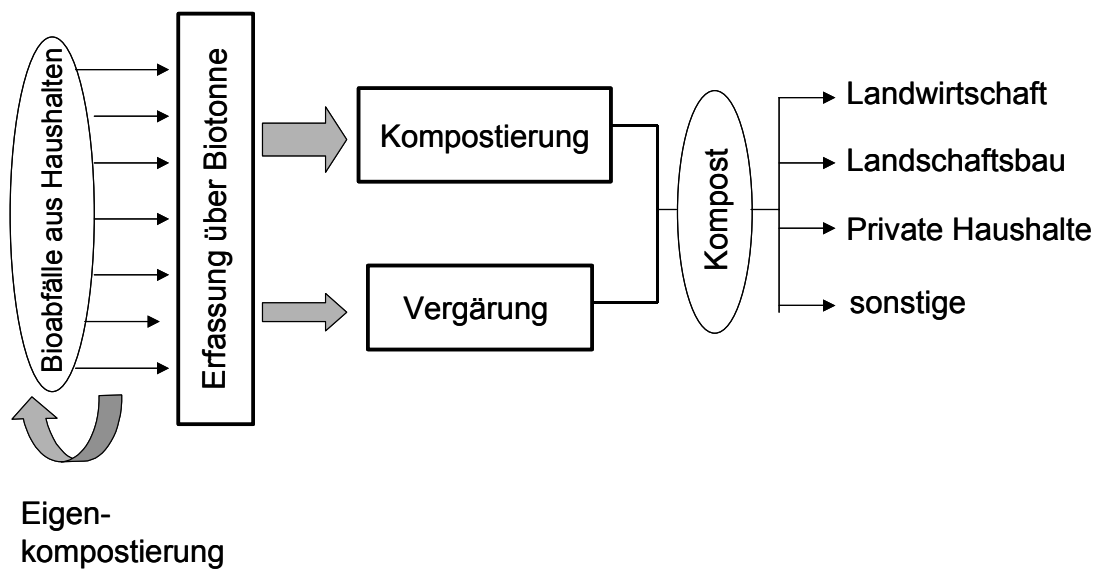


Abbildung 7-11: Übersicht über die Stoffströme bei der Verwertung von Bioabfällen aus Haushalten

Nimmt man die berichteten 73 kg/(E*a) [Kern, Raussen 2005] als spezifisches Aufkommen an Bioabfällen aus Haushalten, ergibt sich rechnerisch für Deutschland eine Gesamtmenge von knapp 6 Mio. Jahrestonnen. Damit verbundene Stoffflüsse an Frisch- und Trockenmasse, Stickstoff und Phosphor sind in Tabelle 7-8 aufgeführt.

Tabelle 7-8: Stoffdaten für Bioabfälle aus Haushalten [Vogt 2002]

	Feucht- masse t/a	TS- Gehalt	oTS in % TS	N _{ges.} in %TS	P _{ges.} in % TS	Spez. Biogas- produktion
Biomüll	6.000.000	40 %	50 %	1,65 %	0,43 %	390 l/kg oTS _{zu}

Der Anteil von öffentlichen Grünflächen geht hier nicht in die Betrachtung mit ein, da dieser Stoffstrom bereits im Kapitel 6 als Landschaftspflegerest betrachtet wurde.

Die getrennt gesammelten Bioabfälle werden vollständig verwertet und als Kompost auf Flächen ausgebracht. In aller Regel erfolgt die biologische Behandlung aerob. Erst gegen Ende der 90er Jahre wurden auch Vergärungskapazitäten für Biomüll aus Haushalten geschaffen. Nach einer umfassenden Bestandsaufnahme aus Ende der 90er Jahre [Wiemer, Kern 1998] betrug der Anteil der Vergärungsanlagen an den Gesamtkapazitäten zur Bioabfallbehandlung etwa 15 %. Diese Angaben lassen sich kaum ausschließlich auf Bioabfälle aus Haushalten beziehen, da diese Anlagen auch

andere biogene Abfälle mitbehandeln. Deutlich wird allerdings, dass bislang nur ein kleiner Teil der Bioabfälle aus Haushalten auf anaerobem Weg zu Kompost verwertet wird.

Nach der Vermarktungsstatistik der Bundesgütegemeinschaft Kompost [BGK 2006] werden zu etwa 2/3 Fertig- und zu etwa 1/3 Frischkompost erzeugt. Während der Frischkompost vor allem in der Landwirtschaft (zu 75 %) abgesetzt wird, gelangt Fertigkompost verstärkt in den Landschaftsbau, in den Hobby- und Erwerbsgartenbau sowie in Erdenwerke. Über die Landwirtschaft werden nur 36 % des Fertigkompostes vermarktet.

Die Vermarktungswege der einzelnen Hersteller von RAL-gütesichertem Kompost können dabei stark von diesen mittleren Werten abweichen. Nach Angaben der Bundesgütegemeinschaft Kompost [BGK 2006] erfolgt der Absatz nicht selten ausschließlich über die Landwirtschaft. Es gibt aber auch zahlreiche Kompostierungsanlagen, die auf eine Vermarktung über die Landwirtschaft verzichten, sondern sich ertragstärkere Vermarktungswege erschlossen haben. Dies zeigt, dass den erzeugten Kompostqualitäten grundsätzlich alle Vermarktungswege offen stehen. Dies gilt auch für anaerobe Komposte, d.h. Rückstände aus der Bioabfallvergärung [Fischer 1997]

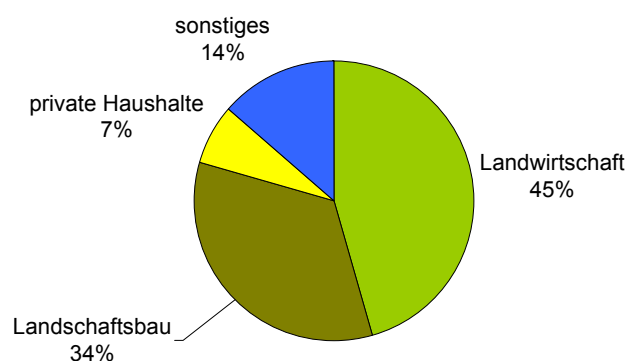


Abbildung 7-12: Verwertung der Komposte aus der Behandlung der Bioabfälle aus Haushalten [EdDE 2005]

7.5.2 Möglichkeiten zur Optimierung der Stoffströme

Aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen sind hochwertige Verwertungswege im Substratbereich grundsätzlich schwierig zu erschließen. Hier bestehen jedoch noch große Potenziale zum Einsatz von Kompost in Konkurrenz zu auf Torfbasis erzeugten Produkten.

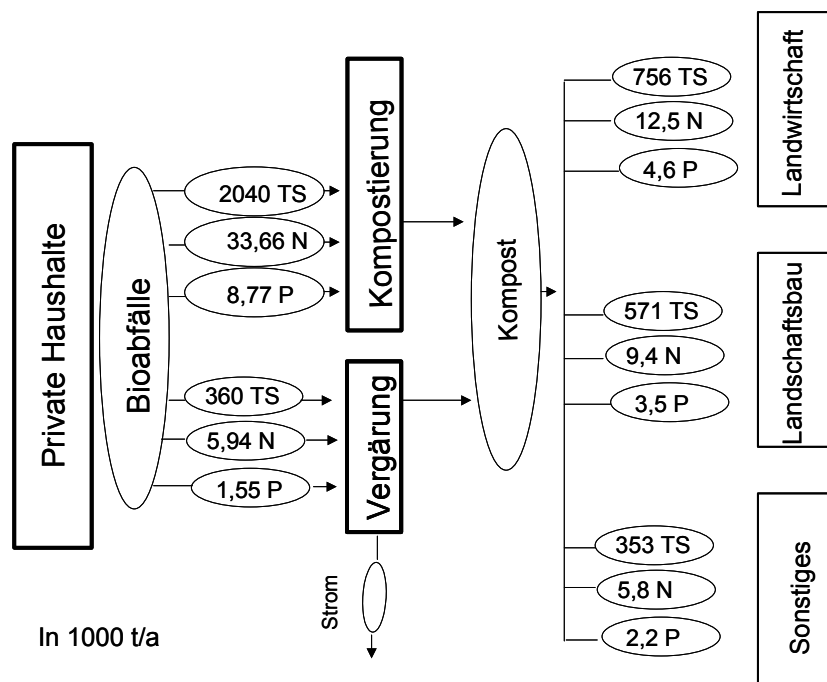


Abbildung 7-13: Stoffflüsse für Bioabfall aus Haushalten

Bei der biologischen Behandlung des Bioabfalls erfolgt ein Abbau der organischen Masse. Der Umbau der organischen Masse erfolgt bei der **Kompostierung** zu Kohlendioxidemissionen (leicht abbaubare Fraktion) und schwerer abbaubarer organischer Substanz (humusbildende Substanz). Bei einer Kompostierung kann ein Massenerhalt für Phosphor unterstellt werden.

In der Abfallwirtschaft hat die Eigenkompostierung von Bioabfällen ihren besonderen Stellenwert, da sie als Abfallvermeidungsmaßnahme eingestuft wird und sich damit auf der obersten Stufe der abfallwirtschaftlichen Zielhierarchie „Vermeiden – Verwerten – Entsorgen“ befindet. Diese Praxis der Eigenkompostierung wird dabei auch aus ökologischer Sicht und aus Sicht der Ressourcenschonung gestützt. Wie die Ökobilanz

Bioabfallverwertung [Vogt 2002] zeigte, ist die Eigenkompostierung im Vergleich zu nahezu allen Entsorgungsalternativen deutlich im Vorteil, auch hier natürlich eine gute fachliche Praxis und eine Anpassung der Kompostmengen an den Nährstoffbedarf der Privatgärten unterstellt.

Alternative Verfahren zur Kompostierung sind die Verbrennung (der holzigen Fraktion) und die Vergärung.

In Bezug auf die **Verbrennung** wurden Grünabfälle und Bioabfälle auf ihre Eignung als Ausgangsstoff zur Brennstoffgewinnung untersucht [EdDE 2005]. Danach zeigte sich, dass für getrennt erfassten Bioabfall sich weder mit vertretbarem Aufwand noch in nennenswertem Erfolg ein Teilstrom separieren lässt, der als Biomassebrennstoff infrage käme. Außerdem werden gerade die brennstoffrelevanten Bestandteile am Bioabfall als Strukturmaterial für eine erfolgreiche Prozessführung bei der Komposterzeugung benötigt. Die stoffliche Verwertung als Kompost hat daher gegenüber der Verbrennung Vorrang.

Bei der **Vergärung** ist der Umbau der organischen Masse mit der Erzeugung von Biogas verbunden. Die Abbauraten der Biomasse sind bei aeroben und anaeroben Verfahren (beides mit Erzeugung von Fertigkompost) in etwa gleich. Wird der Bioabfall vergoren und anschließend nachkompostiert, gehen über diesen Prozess etwa 30 % des Stickstoffs verloren. Bei einer Kompostierung liegt der Verlust bei etwa 40 %. Der P-Gehalt wird dagegen kaum beeinflusst. Bei einer Vergärung erfolgt eine Entwässerung des Gärückstandes verbunden mit Überschusswasser, das als Abwasser entsorgt werden muss. Hierüber sind in geringem Umfang P-Verluste möglich [Vogt 2002]. Wie bei der Kompostierung bleibt bei der Vergärung das Strukturmaterial des Gärrestes bei der Nachkompostierung der Vergärungsrückstände erhalten [Vogt 2002].

Würden die Bioabfälle jedoch über Biogasanlagen energetisch genutzt, wäre damit aus Sicht des Klimaschutzes ein erhebliches Potenzial erschlossen, ohne dass die Vermarktbarkeit der erzeugten Komposte beeinflusst würde. Die Anwendung der Komposte im Substratbereich und im Garten- und Landschaftsbau wird wesentlich durch dessen Gehalte an Nährsalzen und hier insbesondere Stickstoff begrenzt. Da der Feststoffmassenstrom am Auslass der Vergärung gut zu fassen ist, lässt sich hier zudem eine Optimierung in Richtung eines gezielten Austreibens von Stickstoff andenken. Nährstoffärmere Komposte könnten dann verstärkt in aus Sicht des

Klimaschutz und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen hochwertigere Anwendungsbereiche vermarktet werden.

Im Weiteren werden die Klima- und Umweltfolgen betrachtet, die mit einer Umlenkung des Stoffstroms „Bioabfall aus Haushalten“ weg von der Kompostierung hin zu einer Vergärung verbunden wären.

Wie in Abbildung 7-12 gezeigt, erfolgt die Vermarktung des Kompostes zu einem erheblichen Anteil über die Landwirtschaft oder auch im Landschaftsbau. Dabei ist die Verwendung der Komposte meist auf dessen Gehalt an organischer Masse ausgerichtet und orientiert sich weniger an den Gehalten der Pflanzennährstoffe Phosphor und vor allem Stickstoff. In der Landwirtschaft ist eine Zufuhr externer organischer Masse nur dann notwendig, wenn eine humuszehrende Fruchtfolge nicht durch Wirtschaftsdünger und Gründüngung ausgeglichen werden kann.

Aus Sicht der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen und des Klimaschutzes sowie aus Naturschutzperspektive wäre eine Nutzung des Kompostes in Konkurrenz zu Torf besonders interessant. Mit dem Torfabbau werden Moore zerstört, die eine Kohlenstoffsенke und seltenen Lebensraum darstellen. Nach den Angaben des Niedersächsischen Landesamts für Bodenschutz [nlfb 2005] werden jährlich knapp 9 Mio. m³ Torf vermarktet. Dies entspricht bei einer Rohdichte von 350 kg/m³ einer Masse von 3.150.000 Jahrestonnen. Torf findet vor allem im Erwerbsgarten- und im Hobbygartenbau Verwendung.

Die Umstellung auf Produkte auf Kompostbasis findet nur langsam statt: Nach Angaben der Bundesgütegemeinschaft Kompost [BGK 2006] gelangt RAL-gütegesicherter Fertigkompost zu 21,5 % in den Erwerbsgartenbau oder in Erdenwerke. Das entspricht weniger als 25 % des jährlichen Torfabsatzes. Für eine größere Verbreitung sind oft die höheren Salzgehalte und Gehalte an Pflanzennährstoffen hinderlich.

Mindestens die gleiche Eignung als Substrat lässt sich auch durch eine Vergärung und aerobe Nachkompostierung des Bioabfalls erreichen [Fischer 1997]. Die anaerobe Behandlung ist jedoch nicht mit einem Netto-Energieeinsatz wie bei der aeroben Kompostierung verbunden, sondern mit einer Netto-Energieerzeugung über die energetische Nutzung des erzeugten Biogases, was aus Sicht des Klimaschutzes vorteilhaft ist. Zum Teil erfolgt die Biogasnutzung jedoch ausschließlich über eine Verstromung. Überschusswärme wird häufig nur für prozessinterne Zwecke eingesetzt.

Inwieweit Wärme vermarktet werden kann, ergibt sich aus den Randbedingungen am Anlagenstandort bzw. aus der Nähe zu einem potenziellen Wärmeabnehmer. Bei der Anlagenplanung sollte bei der Standortfestlegung auch diesem Gesichtspunkt Rechnung getragen werden.

Die Vergärung bietet aber auch tendenziell die Möglichkeit, die über den Vergärungsprozess gelösten Nährstoffe (vor allem Stickstoff) aus dem Massenstrom zu entfernen. In der nachfolgenden Kompostierung und Kompostanwendung reduzieren sich die N-Emissionen und die damit verbundenen Umweltwirkungen. Das Material ist tendenziell nährstoffärmer und würde damit den Anforderungen des Erwerbsgartenbaus möglicherweise besser gerecht. Aus der abgetrennten Flüssigphase lässt sich zudem grundsätzlich über die gezielte Zudosierung von Magnesium und Phosphor ein verkaufsfähiger mineralischer Dünger erzeugen.

7.5.2.1 Szenarioannahmen und Systemgrenzen

Für die Bilanzierung wird (optimistisch) unterstellt, dass aus der Biogasnutzung auch die Wärme vermarktet werden kann – und zwar ganzjährig (d.h. für industrielle Prozesse). Die der Bilanzierung zugrunde gelegten Netto-Wirkungsgrade sind 33 % für Strom und 56 % für Wärme [Vogt 2002]. Eine weitere Möglichkeit einer tendenziell standortunabhängigen optimalen Energienutzung wäre auch durch eine Aufbereitung des Biogases zu Erdgasqualitäten und dessen Einspeisung in das Erdgasnetz zu erreichen.

Es wird davon ausgegangen, dass für die Vergärung etwa 50 kg/(E*a) zur Verfügung stünden. Die Differenz zu 73 kg/(E*a) Bioabfallaufkommen [Kern, Raussen 2005] wird damit entweder bereits in Vergärungsanlagen eingesetzt oder als strukturreiches Material an der Vergärung vorbei gezielt der Nachkompostierung zugeführt.

Es werden folgende Nutzungskaskaden für 4,1 Mio. t Bioabfall (d.h. 50 kg/(E*a)) diskutiert:

A aerobe Kompostierung und Verwertung der Komposte in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau (Status-Quo)

B Vergärung und Nachkompostierung mit einem Kompost als Torfsubstitut, mit

Nährstoffrückgewinnung aus dem Presswasser und der Erzeugung eines mineralischen Düngemittels sowie optimaler Nutzung des erzeugten Biogases

Tabelle 7-9: Datengrundlage zur Bilanzierung der optimierten Verwertung von Bioabfällen aus Haushalten

Szenario			Quelle
Kompostierung	Offene Kompostierung	Spez. Emissionen spez. Verbräuche	[Vogt et al. 2002]
	Erzeugung von Fertigkompost	Vermarktungssplit	[Vogt et al. 2002]
Optimierte Vergärung	Mesophile Vergärung	Spez. Emissionen spez. Verbräuche spez. Energieerzeugung	[Vogt et al. 2002] [Öko-Institut 2004]
	Aufteilung der Stoffströme	Angaben	[Vogt et al. 2002]
	Stoffstrom flüssig	MAP-Erzeugung 34:14:31	lfu-Datenbank
	Stoffstrom fest	Nachkompostierung	[Vogt et al. 2002]
		Vermarktung	Annahmen

7.5.2.2 Ergebnisse

Aus den Graphiken in den nachfolgenden Abbildungen wird deutlich, dass mit einer Verschiebung der Biomasseströme „Bioabfall aus Haushalten“ von der gängigen Kompostierung hin zu einer optimierten Vergärung ein deutlicher Erfolg verbunden wäre.

In den Ergebnisgraphiken werden die mit der Verwertung verbundenen Lasten für jeden diskutierten Umweltaspekt nach oben aufgetragen („System“), während die damit verbundenen Substitutionserfolge nach unten abgetragen werden („Gutschrift“). Die Verrechnung beider Effekte ergibt den mit der Verwertung verbundenen „Netto“-Effekt.

Das Ergebnis zum **Treibhauseffekt** (Abbildung 7-14) wird wesentlich durch den Umgang mit dem erzeugten Kompost bestimmt. Gelingt es, durch eine Stickstoffverringern im Vergärungsrückstand und durch eine Nachkompostierung des Gärrückstands, Kompost in einer Qualität zu erzeugen, der in Substraten in Konkurrenz zu Torf eingesetzt werden kann, sind damit große positive Effekte verbunden. Torf gilt als fossiler Kohlenstoff. Die Substitution des Einsatzes von Torf wirkt sich daher rechne-

risch unmittelbar positiv auf das Ergebnis aus. Dieser Effekt aus der Torfsubstitution ist in etwa gleichbedeutend zu dem Effekt aus der Bereitstellung von Energie aus der Biogasnutzung unter den angesetzten Randbedingungen einer verbesserten Energieeffizienz.

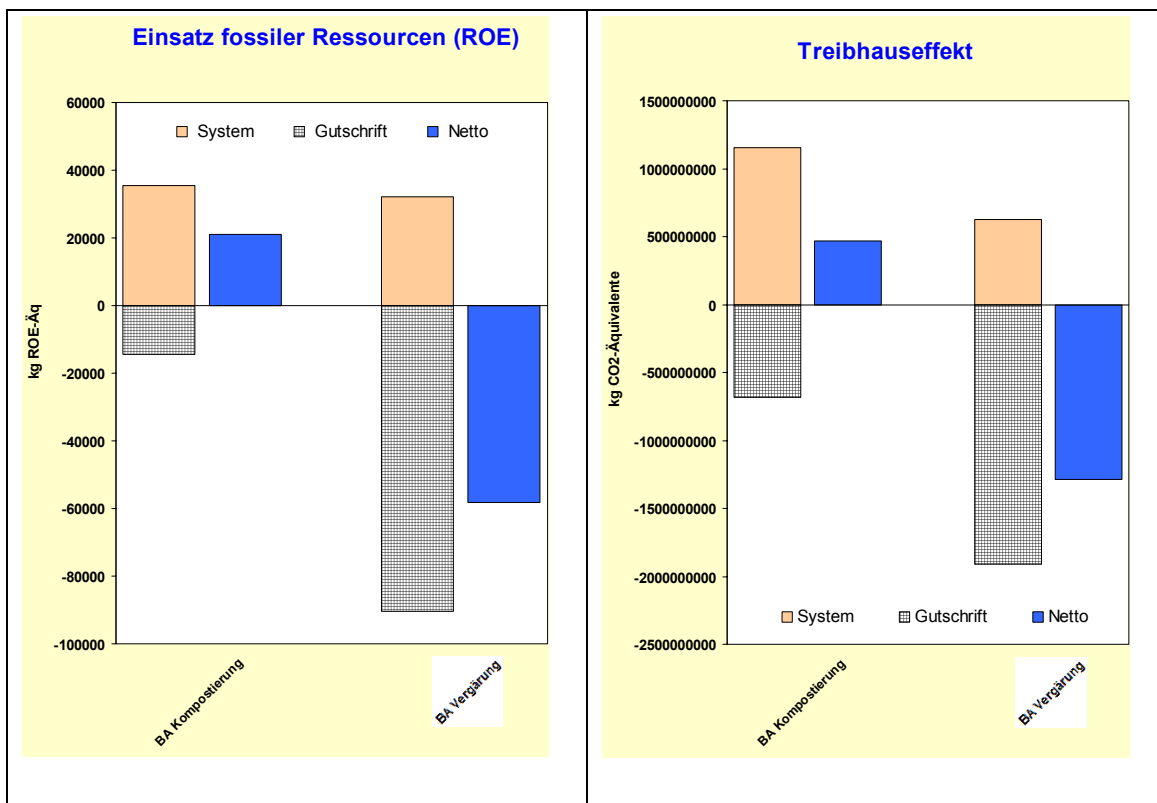


Abbildung 7-14: Bilanz - Ergebnisse für einen optimierten Verwertungsansatz für Bioabfall

Auch beim Kriterium **Schonung fossiler Ressourcen** (Abbildung 7-15) ist die deutliche Netto-Entlastung gegenüber dem Status-Quo zu über 50 % auf die angenommene vollständige Wärmenutzung zurück zu führen. Bei einer reinen Verstromung des Biogases würde die Gutschrift nur in etwa die Aufwendungen für das gesamte System Bioabfallverwertung ausgleichen. Dies resultiert nicht zuletzt aus einem erheblichen Grundsockel an Energieeinsatz, der für die Sammlung des Bioabfalls ab Haushalten eingesetzt werden muss. Der spezifische Dieserverbrauch generell bei der Abfallsammlung, d.h. nicht nur bei der Erfassung des Bioabfalls, liegt sehr hoch [Vogt 2002].

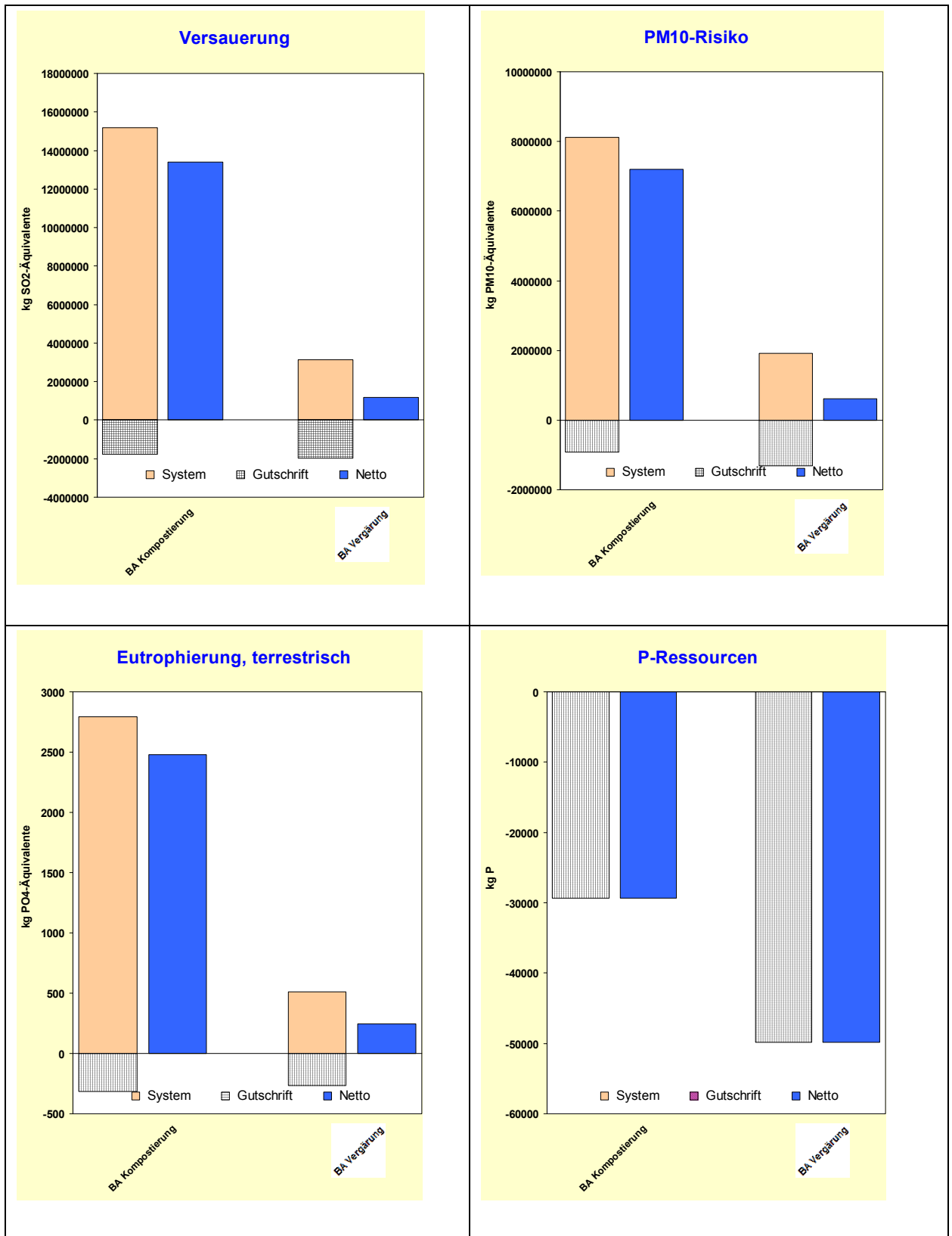


Abbildung 7-15: Bilanz - Ergebnisse für einen optimierten Verwertungsansatz für Bioabfall – weitere Umweltkriterien

Bei den Umweltwirkungskriterien **Versauerung**, **terrestrische Eutrophierung** und **PM₁₀-Risiko** schneidet die optimierte Vergärung immer deutlich besser als die Kompostierung der Bioabfälle ab. So sind die Emissionen deutlich niedriger, während sich die Substitutionserfolge in ihren Beträgen kaum unterscheiden. Bei der Berechnung der Emissionen konnte nur der Effekt quantitativ berücksichtigt werden, der sich aus der geschlossenen Ausführung der Nachkompostierung mit Fassung der Emissionen und deren Behandlung über Biofilter ergibt.

Nicht berücksichtigt sind mögliche Erfolge durch eine gezielte N-Minderung im Rottegut bspw. durch eine Luftstrippung des Gärrückstandes. Die Emissionen aus der Nachkompostierung tragen noch zu etwa 1/3 an den errechneten Beiträgen hinsichtlich Eutrophierung terrestrisch bei. Sie ließen sich durch eine gezielte N-Minderung im Rottegut möglicherweise noch weiter senken.

Auch hinsichtlich der **Ressource Phosphat** werden durch eine optimierte Vergärung gegenüber einer ausschließlichen Kompostierung Erfolge erzielt. Durch die Rückgewinnung des Phosphors aus dem Überschusswasser sowie der optimierten Art der Verwertung der erzeugten Komposte lassen sich größere Anteile des im Bioabfall enthaltenen Phosphors als Pflanzennährstoff nutzen und somit P-Lagerstätten schonen.

7.6 Biogene Anteile im Restabfall

7.6.1 Stoffströme der biogenen Anteile im Restabfall

Ein Teil der in Haushalten entstehenden Abfälle werden, aufgetrennt in verschiedene Abfallfraktionen, der Entsorgungswirtschaft übergeben. Es handelt sich hauptsächlich um Altglas, Leichtverpackungen und vor allem um Papier/Pappe/Kartonagen und Bioabfälle. Bioabfälle aus Haushalten und Papier/Pappe/Kartonagen werden als separate Biomasseströme diskutiert. Alle die Abfälle, die vom Haushalt nicht den verschiedenen Wertstofffraktionen zugeordnet werden, verbleiben im Restabfall und werden über die Restmülltonne entsorgt.

Wie man aus Abbildung 7-16 ersehen kann, ist trotz der getrennten Erfassung der Biomasse noch ein erheblicher Anteil dieser biogenen Stoffe in der Restmülltonne zu

finden. Dies liegt zum einen daran, dass nicht alle Haushalte an eine Biomüllfassung angeschlossen sind. In vielen Körperschaften ist die Biotonne zudem auf freiwilliger Basis eingeführt, so dass Haushalte selbst dann nicht über eine Biotonne verfügen, wenn eine Eigenkompostierung nicht oder nur eingeschränkt möglich ist. Darüber hinaus werden Haushalte durch die Abfallberatung und Öffentlichkeitsarbeit auf kommunaler Ebene dazu angehalten, Speisereste nicht einer getrennten Bioabfallsammlung zu übergeben. Entsprechend zielt die Biotonne bewusst nur auf eine Teilmenge der biogenen Haushaltsabfälle ab.

Selbst bei optimaler Öffentlichkeitsarbeit und optimaler Logistik der Getrenntfassung von Wertstoffen sind Sammelquoten von 100 % nicht möglich. Auch bei einem optimalen auf eine möglichst hohe Quote abzielenden Erfassungssystem verbleiben immer Anteile, die von den Haushalten der Restmülltonne zugeordnet werden. Deshalb lassen sich auch noch größere Mengen Papier/Pappe/Kartonagen im Restabfall finden.

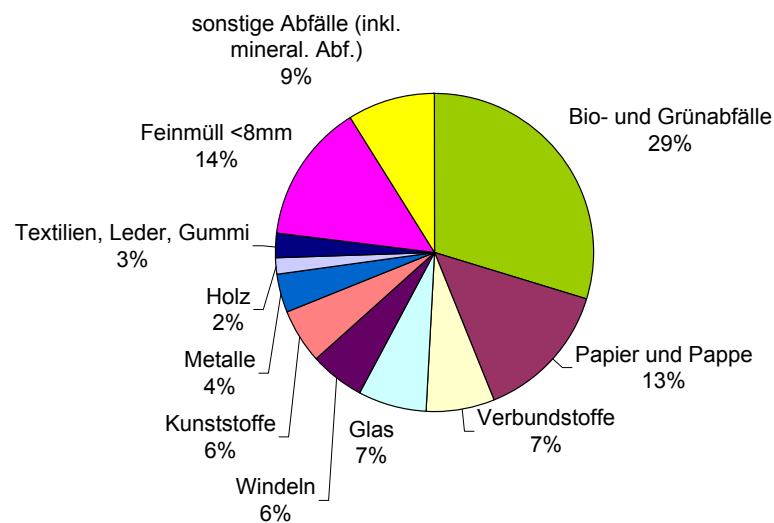


Abbildung 7-16: Restabfallzusammensetzung, nach Kern [2001]

Etwa 30 % des Restabfalls sind Bio- und Grünabfälle. Darüber hinaus ist ein Anteil im Feinmüll (<8mm) biogenen Ursprungs. Außerdem sind noch kleine Anteile Holz sowie größere Anteile Papier/Pappe im Restmüll enthalten. Auch ein Teil der Textilien ist aus Baumwolle oder Viskose und damit biogen. In kleinen Mengen sind zudem ausgehärtete Altseisefette enthalten. Nimmt man die Inhalte der Windeln, aber auch die Verpackungsverbunde aus, sind in Summe etwa 45 % des Restabfalls aus Haushalten

biogene Abfallfraktionen (Summe aus: Holz, PPK, Biomüll), wenn man die Anteile im Feinmüll und in anderen Fraktionen vernachlässigt.

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes wurden im Jahr 2003 etwa 15,8 Mio. t Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle über die öffentliche Abfuhr entsorgt. Darüber hinaus werden an den Restabfallentsorgungsanlagen noch weitere nicht andienungspflichtige Abfälle angeliefert. Die Kapazitäten liegen für Mechanisch-Biologische Restabfallbehandlungsanlagen bei 5,7 Mio. t Kapazität [Grundmann 2005], für Müllverbrennungsanlagen bei 17,8 Mio. t [Thomé-Kozmiensky 2005]. Gerade bei den MBA sind allerdings einige der Anlagen derzeit noch nicht im Entsorgungsbetrieb.

Mit dem Verbot der Ablagerung unbehandelter Abfälle auf Deponien Mitte 2005 haben sich deutliche Abfallmengenverschiebungen ergeben. So werden seitdem Abfälle gewerblicher Herkunft Restabfallentsorgungsanlagen angedient, die bis dato als vorgeblich zur Verwertung an Sortieranlagen angeliefert wurden, die Siedlungsabfalldeponien zugeordnet waren. Die Restabfallmengen entsprechen daher derzeit in etwa den genannten Entsorgungskapazitäten bzw. liegen noch etwas darüber. Es handelt sich um eine Umbruchsituation. Man kann davon ausgehen, dass sich das Restabfallaufkommen in nächster Zeit noch verändern wird.

Ob der Restabfall aus Sicht der Fragestellung des Projektes optimal entsorgt wird, lässt sich grob anhand folgender Überlegungen für den Biomassenanteil prüfen:

1. Gibt es innerhalb der Restabfallentsorgung Lösungen, die aus Sicht des Ressourcenschutzes oder aus Umweltsicht als vergleichsweise günstiger einzustufen sind?
2. Lässt sich aus dem Restabfall durch eine mechanische Aufbereitung ein Biomassenteilstrom abtrennen, der vorteilhafter entsorgt bzw. verwertet werden könnte?
3. Gibt es neben den genannten Wertstofffraktionen weitere Biomassen, die am Ort des Abfallanfalls getrennt gehalten und einer Verwertung zugeführt werden könnten?

Die Unterschiede in den Umweltwirkungen zwischen den Entsorgungsverfahren MBA und MVA sind mit Inkrafttreten der 30. BImSchV relativ gering. Dies gilt im Ansatz auch

für den Aspekt Klimaschutz. Bei einer MVA wird der gesamte Massenstrom verbrannt und in Energie umgewandelt. Auch bei dem Entsorgungskonzept MBA werden Teilströme energetisch genutzt, Teile werden stabilisiert auf Deponien abgelagert und damit in gewissem Umfang einer Kohlenstoffsенке zugeführt. Unterschiede ergeben sich im Einzelfall eher aus den spezifischen Randbedingungen, hier insbesondere Art und Umfang der Nutzung der über eine MVA erzeugten Energie. Derzeit führt das ifeu-Institut Heidelberg Forschungsprojekte mit dieser Fragestellung durch, deren erste Erkenntnisse in diese Richtung weisen: Eine umfassende Nutzung der Energie vorausgesetzt, kann die Behandlung in einer MVA günstiger sei als eine Auftrennung der Stoffströme über eine MBA und eine Mitverbrennung einer Teilfraktion in Kraft- und Zementwerken. Darüber hinaus gibt es allerdings auch erste Erfahrungen mit Trennsystemen, die mittels Positivsortierung genau spezifizierte Brennstoffe erzeugen, wie sie von Seiten der Industrie verlangt werden. In Kombination mit energetisch optimierter Verwertung der biologischen Bestandteile des Restmülls ermöglichen diese Verfahrenskombinationen zukünftig eine weitestgehend energieoptimierte Verwertung der Restabfälle.

In diese Richtung geht auch die Frage, inwieweit es sinnvoll ist, eine bestimmte biogene Fraktion aus dem Restabfallstrom abzutrennen und einer gezielten Verwertung zuzuführen. Eine Abtrennung und stoffliche Nutzung käme für die Biomassen nur für Papier/Pappe/Kartonagen infrage. Wie eine Studie zur Frage der Getrenntsammlung [MUNLV 2005] zeigte, bestehen seitens der Verwerter von Papier/Pappe/Kartonagen oder auch Papierverbunden (Getränkeverpackungen) große Bedenken. Papieren aus einer gemischten Erfassung zusammen mit Restabfall wird die Verwertungsmöglichkeit abgesprochen. Eine Abtrennung von Bioabfällen aus dem Restabfallstrom erfüllt ebenfalls nicht die Qualitätsanforderungen für Kompostausgangprodukte. Die Bioabfälle selbst sind für eine Verbrennung nicht geeignet [EdDE 2005]. Holz wiederum lässt sich sinnvoller und in größerem Umfang aus dem Stoffstrom Sperrmüll separieren. Dies ist in vielen Gebietskörperschaften bereits Praxis.

In Österreich werden Altspeiseöle aus Haushalten und dem Gastgewerbe getrennt erfasst und einer Verwertung zugeführt. In Deutschland werden diese Abfälle in ausgehärteter Form über die Restabfalltonne entsorgt. In Fettschmelzen zur stofflichen Verwertung gelangen nur Fette industrieller Herkunft.

7.6.2 Potenziale: biogenen Anteile im Restabfall

Im Nachbarland Österreich haben sich in den meisten Bundesländern mittlerweile Sammelsysteme zur getrennten Erfassung von Speiseölen und –fetten aus Gastronomiebetrieben aber auch aus den Privathaushalten etabliert. In Deutschland gab es in grenznahen Gebieten immer wieder Ansätze, analoge Sammelsysteme einzurichten. Die getrennte Sammlung erfolgt nicht so sehr aus abfallwirtschaftlicher Sicht als vielmehr auch aus dem Gesichtspunkt der Vermeidung von Schäden, die durch die Entsorgung der Fette über das Abwasser in Rohren und Leitungen zu erwarten sind.

Es kann von einem Potenzial von etwa 3 kg/(E*a) ausgegangen werden, das umgelegt auf die BRD etwa 250.000 t/a (Feuchtmasse) entspricht. Das getrennt gesammelte Speisefett lässt sich auf unterschiedliche Art energetisch nutzen [igw/ifeu 2003].

7.6.3 Szenario: Optimierte Verwertung der Altspeisefette

7.6.3.1 Szenarioaufbau und Systemgrenzen

In Deutschland empfiehlt die abfallwirtschaftliche Beratung der entsorgungspflichtigen Körperschaften grundsätzlich, die in Haushalten anfallenden Speisefette aushärten zu lassen und dann über die **Restmülltonne** zu entsorgen. Dieser Entsorgungsweg kann daher als Status-Quo angesetzt werden. Seit Mitte 2005 muss der Restabfall vor einer Ablagerung behandelt werden. Als Standardentsorgung wird für die Bilanzierung eine Müllverbrennungsanlage mit einer Bereitstellung von Strom (10 % Wirkungsgrad) und Wärme (30 % Wirkungsgrad) unterstellt. Durch die Wärme wird über Fernwärmesysteme zu gleichen Anteilen Wärmebereitstellungen über Erdgas und Heizöl substituiert.

Die klassische Alternative der Verwertung derartiger Fette kann der Einsatz als **Co-Substrat in Bioabfallvergärungsanlagen** sein, wobei dann auch die Sammlung zumindest ab Privathaushalt bereits über die Biotonne erfolgen könnte.

Vor dem eigentlichen Vergärungsprozess erfolgt keine Abtrennung von störenden Bestandteilen. Es wird davon ausgegangen, dass alle Stoffe und damit auch die Verunreinigungen Speisereste und damit nativ-organisch sind und einem Vergärungsprozess zugeführt werden können. Die spezifische Biogasausbeute wird für die

Bilanzierung nach [igw, ifeu 2003] mit $0,59 \text{ m}^3 \text{ Gas} / \text{kg oTS}_{\text{zugeführt}}$ bei einem Methan-gehalt von 70,6 % angesetzt. Der spezifische Biogasertrag liegt damit unter den Erträgen, die für Co-Fermentationen in landwirtschaftlichen Faulbehältern und Faultürmen von Kläranlagen angesetzt werden können. Der mittlere elektrische Wirkungsgrad für BHKW liegt bei 33 %. Es wird nicht davon ausgegangen, dass an den Standorten Wärme über den Eigenbedarf hinaus vermarktet werden kann. Welche Effekte eine Wärmenutzung oder Einspeisung des Biogases ins Erdgasnetz haben kann, ist bei den Bioabfallszenarien (s.o.) beschrieben.

Für die Vergärungsrückstände wird unterstellt, dass diese nachkompostiert werden und die so erzeugten Komposte in unterschiedlichen Märkten als Substitute von Düngemitteln, Torf und Rindenhumus eingesetzt werden.

In jüngster Zeit hat sich eine **Verwertungsalternative** vor allem in Österreich etabliert (siehe bspw. www.wirkungsgrad.at), nach der die aufbereiteten Fette und Öle ohne Umesterung in Motoren eingesetzt werden, die als **Blockheizkraftwerke** einen elektrischen Wirkungsgrad von 40 % aufweisen [igw/ifeu 2003]. Die Wärme ist ebenfalls nutzbar (Wirkungsgrad 50 %), die Nutzungsmöglichkeiten sind jedoch stark von den spezifischen Gegebenheiten vor Ort abhängig. Für diese Betrachtungen wird unterstellt, dass die Überschusswärme genutzt werden kann und zu gleichen Teilen die Wärmeerzeugung aus Erdgas und Heizöl ersetzt.

Die Verwertung in einem derartigen Blockheizkraftwerk setzt voraus, dass nicht erwünschte Bestandteile zusammen mit der Abtrennung von Wasser abgeschieden werden. Zu diesem Zweck werden die Altöle erwärmt. Es erfolgt eine Phasentrennung in Öl und Wasser, die schweren Bestandteile setzen sich bei entsprechenden Verweilzeiten ab. Die abgetrennten Stoffe sind überwiegend nativ-organisch. Für sie wird eine Verwertung in einer Biogasanlage angesetzt [igw/ifeu 2003].

7.6.4 Ergebnisse der Szenariorechnung

Die Ergebnisse sind in Abbildung 7-17 aufgeführt. Nach oben aufgetragen sind jeweils die mit der Abfallentsorgung verbundenen Lasten („System“), nach unten die damit verbundenen Substitutionserfolge („Gutschrift“). Durch Verrechnen dieser beiden Effekte ergibt sich das „Netto“-Ergebnis.

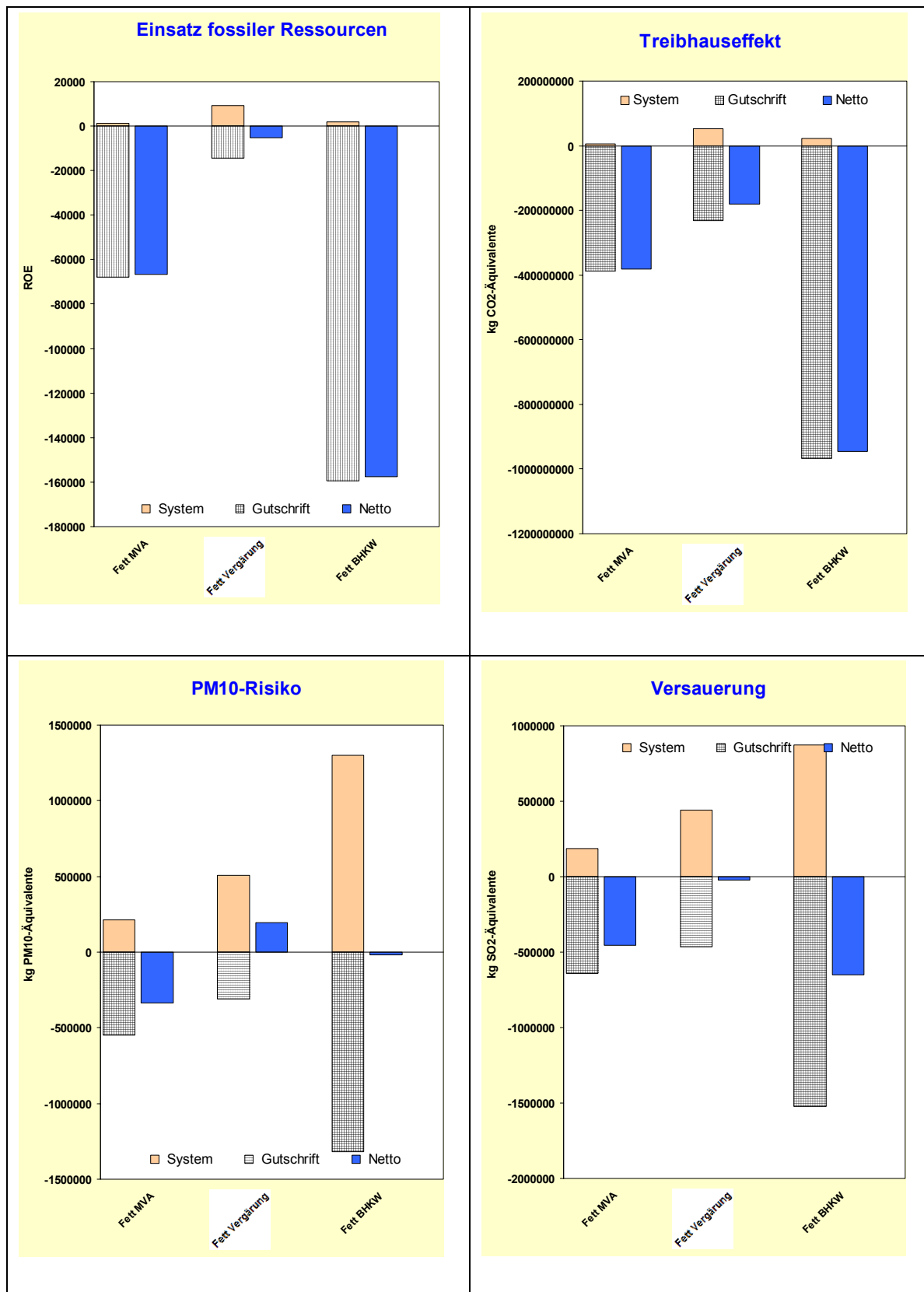


Abbildung 7-17: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung der Verwertung von 250.000 t/a Altspeisefette

Für alle Alternativen übertreffen die Substitutionserfolge die Lasten, die mit der Entsorgung der Altspeiseöle verbunden sind. Es sind jedoch deutliche Unterschiede zu verzeichnen.

Ein Verschieben des Biomassestroms Altspeiseöl weg von der Entsorgung in einer MVA würde aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen vor allem in Richtung des Einsatzes in einem Blockheizkraftwerk Sinn machen. Selbst bei einem besseren Wirkungsgrad durch externe Wärmenutzung der BHKWs würde eine Biogaserzeugung über Vergärungsanlagen nicht an diese Substitutionserfolge heranreichen können.

Die getrennte Erfassung ist ab Bereitstellung in zentralen Annahmestellen bilanziert. Müssten vom Haushalt bis zu diesen Sammelstellen gesonderte Entsorgungsfahrten mit Pkw angerechnet werden, würden diese Verwertungsoptionen deutlich schlechter abschneiden. In aller Regel wird diese Entsorgung als Teil einer bspw. Versorgungsfahrt (Einkaufen) erfolgen.

Die sonstigen Umweltwirkungen, die mit einer Verwertung der Altöle verbunden sind, basieren sowohl bei der Vergärung als auch bei dem Einsatz in einem BHKW vor allem auf der Freisetzung von Stickoxiden bei der Verbrennung. Der deutlich höhere energetische Wirkungsgrad schlägt sich auch unter dem Gesichtspunkt Versauerung und Freisetzung von Feinstäuben nieder. Neben Stickoxiden haben substituierte Schwefeldioxidemissionen eine größere Bedeutung.

7.7 Fettabscheiderinhalte

An einigen gewerblichen Standorten sind im Abwasserstrom Fettabscheider vorhanden. Sie dienen der Vorreinigung des Abwassers vor einer Einleitung in die Kanalisation und sollen die nachfolgenden Abwasserrohre vor schädlichen Ablagerungen schützen. Sie werden immer dann eingesetzt, wenn pflanzliche und tierische Fette und Öle aus dem Abwasser zurück gehalten werden müssen.

Je nach Herkunft und Belastung der Abwässer weisen die Fettabscheiderinhalte eine unterschiedliche Zusammensetzung und vor allem eine unterschiedliche Schadstoffbelastung auf. Fettabscheiderinhalte haben je nach Ausgestaltung des Fettabscheiders und der Art der Entsorgung auch deutlich unterschiedliche Wassergehalte und

Sinkstoffanteile. Die Fettanteile schwanken zwischen 8 und 40 %, die Sinkstoffanteile zwischen 8 und 50 % und die Wassergehalte liegen zwischen 50 % und 85 % [HLfU 1995].

7.7.1 Stoffströme: Fettabscheiderinhalte

Diese Heterogenität und tendenziell erhöhte Schadstoffbelastung erschwert eine hochwertige Verwertung. Nach dem Entsorgungsatlas NRW [MUNLV 2005] gibt es bspw. in Nordrhein-Westfalen einige spezialisierte Entsorger für Fette und Fettabscheiderinhalte. Hier werden die Fette meist über Dekanter vom übrigen Massenstrom abgetrennt. Nach [ATV 1998] wird das vorentwässerte Material erwärmt, so dass das Fett obenauf schwimmt und eine Trennung zwischen wässrigem Anteil, Fett und Sediment ermöglicht wird. Durch Filtration und Sieben kann eine Reinigung intensiviert werden. Beim Übergang Fett zu Wasser entstehen Emulsionen, die sich hier konzentrierenden Speisereste und Eiweiße werden meist getrennt entsorgt.

Je nach Anlagenausstattung werden 5 bis 35 % als technische Fettsäuren verkauft und dienen als Ausgangsstoffe für die Fettchemie. Etwa 20 % des Anlageninputs fällt als Abwasser an. Die verbleibenden 45 bis 75 % werden als Schlämme vor allem in Vergärungsanlagen eingesetzt [MUNLV 2005]. In Vergärungsanlagen gelangen ohne weitere Vorbehandlung aber auch die Fettabscheiderinhalte selbst. Nach der Broschüre „Biogas“ der Fachagentur nachwachsende Rohstoffe werden aber Fettabscheider explizit als Co-Substrat für die landwirtschaftlichen Güllefermenter genannt [FNR 2005]. In Nordrhein-Westfalen wurden Fettabscheiderinhalte nicht in eine Positivliste biogener Abfälle aufgenommen, die ohne Einzelnachweis grundsätzlich für eine Mitbehandlung in Faulbehältern von Kläranlagen als geeignet gelten. Sie wurden aber nicht von dieser Entsorgungsalternative grundsätzlich ausgeschlossen [ifeu 2001].

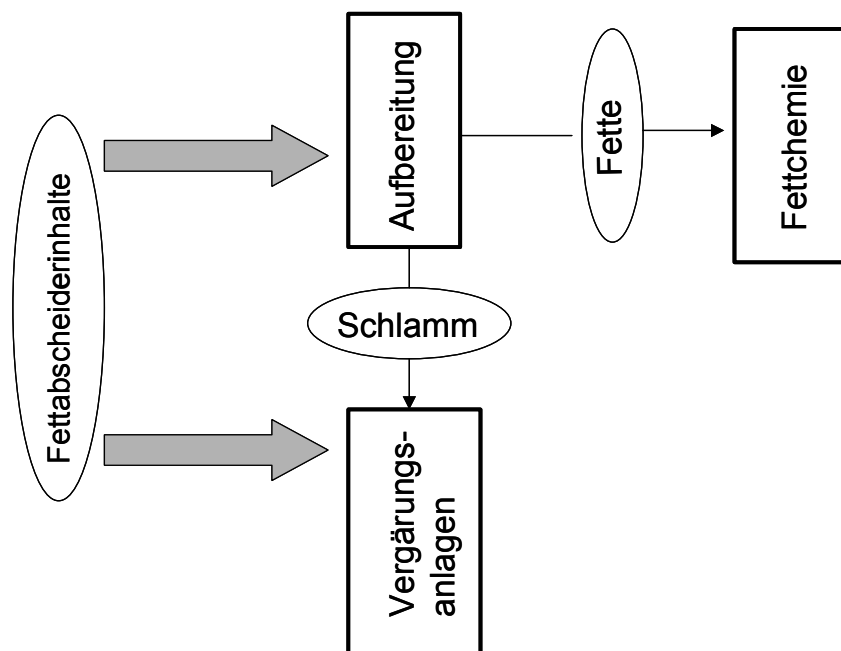


Abbildung 7-18: Stoffflüsse bei der Entsorgung von Fettabscheiderinhalten

Nach Ökopol [1998] fallen in Schleswig-Holstein jährlich mindestens 40.000 t/a Fettabscheiderinhalt zur Entsorgung an. Daraus lässt sich ein Gesamtaufkommen für Deutschland von 1,2 Mio. t jährlich zu entsorgendem Aufkommen ableiten. Dabei handelt es sich um eine nicht entwässerte Masse. Verknüpft mit den Gehalten aus Tabelle 7-10 ergibt sich daraus ein P-Stoffstrom von 110 t Phosphor. Dieser biogene Abfall hat daher aus Sicht der Schonung der Ressource Phosphor keine Bedeutung.

Über die tatsächliche Entsorgung von Fettabscheidern liegen keine Informationen aus statistischen Erhebungen vor. Es ist davon auszugehen, dass diese Abfälle vor allem in verschiedenen Typen von Vergärungsanlagen zur Energieerzeugung eingesetzt und nur untergeordnet zu einer stofflichen Verwertung aufbereitet werden. Wie aus der umfassenden vergleichenden ökologischen Bewertung der verschiedenen Entsorgungsalternativen für Fettabscheiderinhalte [ifeu 2001] deutlich wurde, sind die Unterschiede unter den Vergärungsoptionen vergleichsweise gering.

Tabelle 7-10: Menge und Zusammensetzung von Fettabfällen [Roschke 2004]

Feuchtmasse	TS-Gehalt	oTS in %TS	N _{ges.} in %TS	P _{ges.} in % TS
ca. 1,2 Mio. t	5,6 %	86,6 %	1,6	0,166

7.7.2 Potenziale: Fettabscheiderinhalte

Die Aufbereitung zu technischen Fetten ist aus ökologischer Sicht von Vorteil. Es lassen sich primäre Rohstoffe sowie deren Aufbereitung und Herstellung zu Zwischenprodukten ersetzen. Wie umfassende Untersuchungen für das Umweltministerium in Nordrhein-Westfalen zeigten [ifeu 2001], ergeben sich keine signifikanten Unterschiede unter den Entsorgungsoptionen. Unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenschonung und Ökologie besteht daher kein Bedarf für eine Optimierung des Stoffstroms Fettabscheiderinhalte.

7.8 Kommunale Klärschlämme

Zu den Biomasseströmen gehören auch die kommunalen Klärschlämme. Sie fallen bei den kommunalen Kläranlagen als fester Rückstand der Abwasserreinigung zur Entsorgung an. Der biogene Anteil des Klärschlamm resultiert aus den entsprechenden Abwasserinhaltsstoffen sowie der Biomasse der für die Abwasserreinigung eingesetzten Bakterien. Dazu kommen Betriebsmittel, die für die Fällung weiterer Abwasserinhaltsstoffe eingesetzt werden. Eine Fällung findet nicht nur für Schwermetalle sondern häufig auch für Phosphor statt.

Die Schlämme werden bis auf wenige Ausnahmen über Faultürme stabilisiert und anschließend mechanisch entwässert. Nur sehr kleine Kläranlagen in ländlichen Regionen, bei denen die Investitionskosten für Faultürme in keinem Verhältnis zu dem Klärschlammfall stehen, werden Klärschlämme aerob stabilisiert. Ebenfalls nur in Ausnahmefällen werden Klärschlämme zudem ohne weitere Entwässerung zur Entsorgung abgegeben. Da die Verwertung in diesen Fällen auf landwirtschaftlichen Flächen im unmittelbaren Umfeld der Kläranlagen erfolgt, handelt es sich auch bei diesen wenigen um kleine Kläranlagen in ländlichen Räumen [ifeu 2001]. Aufgrund der geringen Anlagengröße haben diese Ausnahmen der Klärschlamm Entsorgung keine Relevanz.

Werden die Klärschlämme thermisch behandelt, d.h. verbrannt, müssen sie bei einigen Verfahren auch vorab getrocknet werden. Um die Entwässerung der Klärschlämme zu unterstützen, werden anorganische oder organische Entwässerungshilfsmittel (bspw. Metallsalze) zugegeben. In einigen ländlichen Regionen mit einer Nachfrage nach

Kalkdüngern werden die für die landwirtschaftliche Verwertung vorgesehenen Klärschlämme teilweise auch gezielt mit Kalk angereichert [ifeu 2001].

Neben privaten Haushalten sind auch zahlreiche gewerbliche Standorte und Industriebetriebe an die öffentliche Kanalisation angeschlossen. Aus diesen Standorten werden neben sanitären Abwässern hauptsächlich produktionsspezifische Abwässer eingeleitet, die neben den verschiedenen organischen und anorganischen Schadstoffen auch mit Nährstoffen wie bspw. Stickstoff und Phosphor belastet sind. Ein Großteil der problematischen organischen Schadstoffe im Abwasser resultiert jedoch aus Produkten des personal care und damit aus den Haushalten [MUNLV 2004]. Derartige Schadstofffrachten lassen sich demnach kaum minimieren, sieht man von gezielten Anwendungsverbieten für Stoffe im Produktbereich ab.

7.8.1 Stoffströme der kommunalen Klärschlämme

Die sich aus der besonderen Schadstoffbelastung der Klärschlämme (Schadstoffsенke der Abwasserwirtschaft) ergebenden Vorbehalte gegenüber einer stofflichen Verwertung auf Böden werden sich daher auch in Zukunft nicht vermeiden lassen, da eine entsprechende Beeinflussung der Klärschlammqualitäten nicht möglich ist.

Nach den Angaben des Statistischen Bundesamtes liegt das Klärschlammaufkommen bei etwa 2,2 Mio. t TS pro Jahr. Schückes [2006] nennt 2,5 Mio. t TS. Die Entsorgung erfolgte mit Bezugsjahr 2001 zu etwa 25 % thermisch, d.h. die Klärschlämme wurden verbrannt. Dies müsste sich in den letzten Jahren deutlich geändert haben, da die stoffliche Verwertung in der Landwirtschaft, aber auch im Landschaftsbau, rückläufige Mengen aufweist und insbesondere Kraftwerke in großem Umfang Mitverbrennungskapazitäten für Klärschlämme geschaffen haben. Dies zeigt sich in den Ergebnissen der DWA [Reifenstuhl 2005], die bezogen auf einer Rückmeldung von etwa 25 % der Kläranlagen Deutschlands auf einen Verbrennungsanteil von 38 % kommen (siehe auch [Schückes 2006]). Etwas mehr als ein Drittel der thermisch behandelten Klärschlämme gelangte dabei in Kraftwerke.

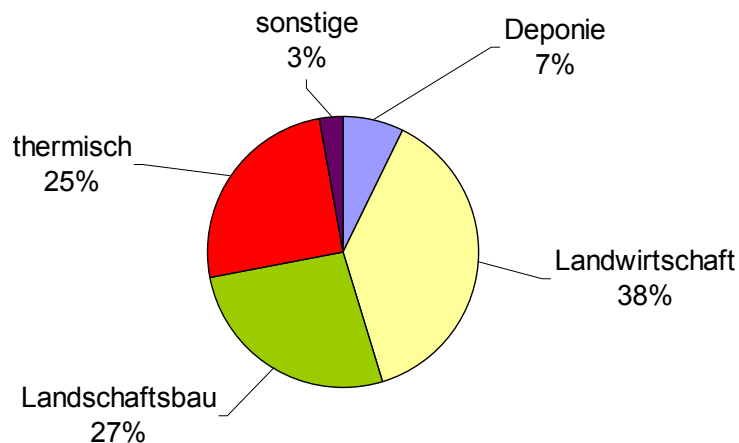


Abbildung 7-19: Klärschlamm Entsorgung im Jahr 2001 nach Angaben des Statistischen Bundesamts

Durch die derzeit genehmigten Verbrennungskapazitäten für kommunale Klärschlämme in Kraftwerken können bereits heute knapp 1,4 Mio. t Klärschlämme entsorgt werden. Nach Angaben des [UBA 2004] liegen die Kapazitäten der 17 Monoverbrennungsanlagen bei 480.000 t Trockensubstanz (Status 2002). In den vorhandenen Klärschlamm Entsorgungskapazitäten ist bislang die Zementindustrie noch nicht berücksichtigt, da sich diese in Deutschland im Gegensatz insbesondere zur Schweiz [Schwager 2006] derzeit erst langsam der Klärschlamm Entsorgung öffnet. Die Großkraftwerksbetreiber haben im Jahre 2004 dem Bundesumweltministerium dargelegt, dass zusammen mit Monoverbrennungsanlagen, Müllverbrennungsanlagen und der Zementindustrie und weiteren kleineren Kraftwerken 2,2 Mio. t Klärschlamm TS verbrannt werden könnten [Schückes 2006] bzw. entsprechende Genehmigungen vorliegen. Dies entspricht dem gesamten Klärschlamm aufkommen gemäß den Angaben des Statistischen Bundesamts. Die Kraftwerksbetreiber selbst gehen jedoch von einer verbleibenden Kapazitätslücke von 300.000 t/a TS aus.

Tabelle 7-11: Zusammensetzung des kommunalen Klärschlammes [Dichtl 2005]

KS-Aufkommen in t/a TS	P _{ges.} in % TS	P _{ges.} in t	N _{ges.} in % TS	N _{ges.} in t
2.195.000	2,1 %	46.100	6,5 %	142.700

Wie schnell diese neu geschaffenen Kapazitäten auch tatsächlich genutzt werden ist abhängig von politischen Vorgaben an die Verwertung von Klärschlämmen auf Böden und letztendlich auch eine Frage der Entsorgungspreise. Seitens des BMU wurde auf einer Tagung zur Klärschlamm Entsorgung in Aachen eine neue Initiative zur Neufestlegung von zulässigen Schadstoffhöchstgehalten in zur Verwertung auf Böden vorgesehenen Klärschlämmen noch im Jahre 2006 angekündigt [Wendenburg 2006]. Dessen ungeachtet treten die Energieversorger mittlerweile für Kohlekraftwerke mit Entsorgungspreisen an, die mit einer Verwertung im Landschaftsbau oder in der Landwirtschaft konkurrieren können bzw. nach [EUWID 2006] in der Branche als Kampfpreise verstanden würden.

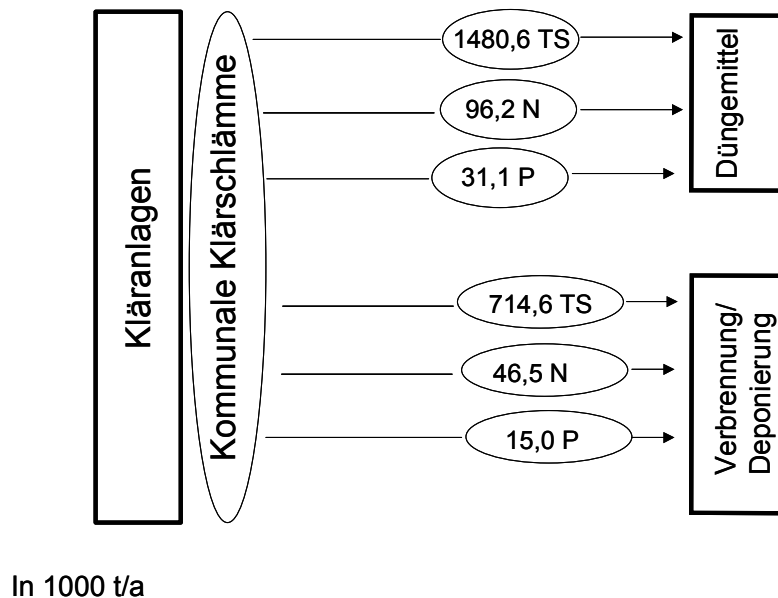


Abbildung 7-20: Stoffströme bei der derzeitigen Entsorgung kommunaler Klärschlämme

7.8.2 Potenziale: kommunale Klärschlämme

Mit diesem oben aufgezeigten Trend ist tendenziell zu erwarten, dass ohne gezielte abfallwirtschaftliche Beeinflussung keine weiteren Entsorgungskapazitäten als Monoverbrennungsanlagen zugebaut bzw. vorhandene nach Ablauf der Standzeiten aus Kostengründen stillgelegt werden. Es ist dagegen eher zu erwarten, dass die von den Kraftwerksbetreibern avisierten Entsorgungskapazitäten auch tatsächlich umgesetzt und genutzt werden.

Wie man aus Tabelle 7-11 ersehen kann, stellen kommunale Klärschlämme ein großes Potenzial zur Rückgewinnung von Phosphor dar. Bei dem angenommenen Trend hin zu einer Mitverbrennung von kommunalen Klärschlämmen vor allem in Kraftwerken und der Zementindustrie würde dieser Pflanzennährstoff dem Kreislauf verloren gehen, der bislang über die stoffliche Verwertung der Klärschlämme auf Böden weitgehend gegeben ist. Aus Sicht des Klimaschutzes zeigen alle Studien der vergleichenden Bewertung von unterschiedlichen stofflichen und energetischen Entsorgungsansätzen für kommunale Klärschlämme (bspw. [ifeu 2001]) keine signifikanten Ergebnisunterschiede, wobei die Mitverbrennungsoptionen eher vorteilhaft sind.

7.8.3 Szenario: Klärschlammverbrennung

7.8.3.1 Szenarioaufbau und Systemgrenzen

Die Stoffströme sind daher aus Sicht einer optimierten Nutzung des Phosphors zu diskutieren und weniger in Richtung einer Optimierung aus Sicht des Klimaschutzes. So lassen sich folgende Szenarien unterscheiden:

- thermische Behandlung in einem Kohlekraftwerk (Braunkohle) als zukünftigem Status-Quo
- Rückgewinnung des Phosphors aus dem Abwasser/Klärschlamm und anschließende thermische Behandlung des Klärschlammes in einem Kraftwerk (Braunkohle)
- Monoklärschlammverbrennung und Rücklösung des Phosphors aus der Asche

Für eine thermische Klärschlammbehandlung wird nicht selten auf Kapazitäten in **Braunkohlekraftwerken** zurückgegriffen, die nicht nur in Nordrhein-Westfalen in jüngster Zeit in großem Stil ausgebaut wurden. Hierbei kann entwässelter Klärschlamm ohne weitere Maßnahmen direkt der Feuerung zugeführt werden. Hinsichtlich der Emissionen gelten für den gesamten Abgasstrom die Grenzwerte der 17. BImSchV entsprechend Anhang II. Auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass Braunkohlekraftwerke diese Anforderungen sicher einhalten, ist mit einer deutlichen Erhöhung der Quecksilberemissionen zu rechnen. Die Rauchgasreinigung erfolgt über Elektrofilter und nasser Rauchgaswäsche bzw. –entschwefelung. Hierbei gelangen noch 20 – 50 % des Quecksilbers in das Reingas. Eine Klärschlammverbrennung in Braunkohlekraftwerken kann damit nur favorisiert werden, wenn die Rauchgasreinigung

hinsichtlich der Quecksilberabscheidung optimiert wird, beispielsweise durch Aktivkohlefilter. Der Gips gelangt in die Bauindustrie, die Asche wird zur Verfüllung der Tagebaue verwendet.

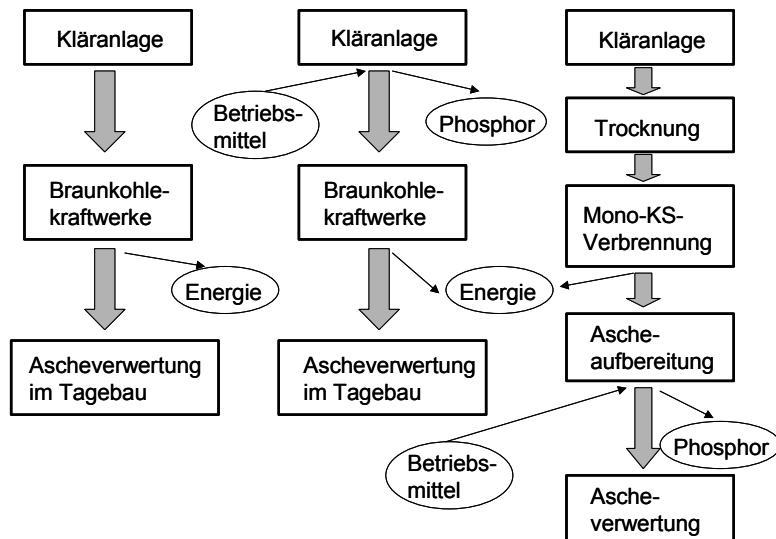


Abbildung 7-21: Skizze der diskutierten Entsorgungsalternativen für kommunale Klärschlämme

Um die spezifischen Erfolge einer Rückgewinnung von Phosphor bei ansonsten unveränderten Rahmenbedingungen diskutieren zu können, wird ein weiteres Szenario bilanziert, das ebenfalls eine Mitverbrennung in einem Braunkohlekraftwerk vorsieht, allerdings nach vorheriger **Rückgewinnung von Phosphor aus dem Klärschlamm bzw. dem Abwasser** selbst. Die Berechnung erfolgt in Anlehnung an das PRISA-Verfahren [Pinnekamp 2005] mit der Erzeugung von MAP (Magnesium-Ammonium-Phosphat). Die P-Rückgewinnungsrate bezogen auf den Input in die Kläranlagen beträgt 35 %. Es lässt sich damit die äquivalente Menge P-Dünger substituieren.

Eine weitere im Rahmen des Projektes nicht bilanzierte Möglichkeit der Rückgewinnung aus dem Abwasser bzw. Schlamm bietet das Seaborne-Verfahren. Für dieses Verfahren ist eine Anlage für den Entsorgungsbetrieb in Gifhorn [Müller 2005] kurz vor Inbetriebnahme (Planung: 1. Quartal 2006). Der ausgefaulte Schlamm wird mit Säure versetzt, wodurch ein Teil der Schwermetalle, aber auch des Phosphors und der organischen Substanz in Lösung geht: In einem nächsten Schritt werden die Schwermetalle gefällt. Nach einer pH-Wert-Anhebung wird Di-Natriumcarbonat als MAP (Mono-Ammonium-Phosphat) gefällt.

Eine Rückgewinnung von Phosphor aus Asche ist nur bei einer **Monoklärschlammverbrennung** möglich. Nur so liegt P für eine Rückgewinnung in ausreichend hohen Konzentrationen in der Asche vor. Für die Monoverbrennung von Klärschlamm werden überwiegend Wirbelschichtfeuerungen eingesetzt. Hierfür wird der Klärschlamm mechanisch entwässert. Er weist dann einen Heizwert von bis zu 2,3 MJ/kg auf. Er ist somit nicht selbstgängig brennbar, so dass eine thermische Trocknung vorgeschaltet werden muss. Dadurch verringert sich der erzielbare Energieüberschuss deutlich auf netto 3 % Strom. Für die thermische Trocknung des Klärschlammes kann u. U. Abwärme aus der Monoverbrennung genutzt werden. Dadurch könnte der Stromwirkungsgrad verbessert werden.

Die Bilanzierung der Phosphor-Rückgewinnung aus der Asche erfolgt in Anlehnung an das RÜPA-Verfahren mittels 7,5 %iger Salzsäure und Natronlauge. Das Verfahren ist noch nicht in der Entsorgung realisiert. Nach ersten Versuchen soll das P-angereicherte Produkt 80 % des Gehalts der Asche enthalten. Für dieses Produkt wird eine Substitution von P-Dünger angesetzt. Wie auch bei den anderen Szenarien wird der im Überschuss erzeugte Strom ins Netz eingespeist und ersetzt eine durch den mittleren Kraftwerksmix erzeugte äquivalente Menge Strom.

7.8.3.2 Ergebnisse der Szenariorechnung

Vor allem hinsichtlich der Frage der Rückgewinnung von P aus der Asche bzw. dem Schlamm ist die Datenlage unsicher. Es ist nicht möglich, auf an Entsorgungsanlagen erhobene Daten zurückzugreifen. Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse (Abbildung 7-22) sind daher mit größeren Unsicherheiten verbunden.

Auch aus diesen überschlägigen Ergebnissen zeigt sich jedoch deutlich, dass die Rückgewinnung der Ressource Phosphor mit dem hier bilanzierten Ansatz der Rücklösung aus der Asche die höchste Rückführungsrate erzielt, unter allen anderen Umweltwirkungskategorien gegenüber den diskutierten Alternativen jedoch deutlich schlechter abschneidet.

Aus Sicht des Klimaschutzes ist die Monoverbrennung netto mit Lasten verbunden. Der für die Trocknung des Klärschlammes und die Rücklösung des Phosphors benötigte Energieaufwand ist vergleichsweise hoch und liegt in seinen Auswirkungen deutlich über den mit der Auskopplung von Strom verbundenen Substitutionserfolgen. In beiden

Szenarien der Mitverbrennung von Klärschlamm in Kraftwerken sind die Substitutionserfolge höher als die damit verbundenen Umweltlasten. Der Aufwand zur Rücklösung von Phosphor schlägt sich dabei kaum im Ergebnis nieder.

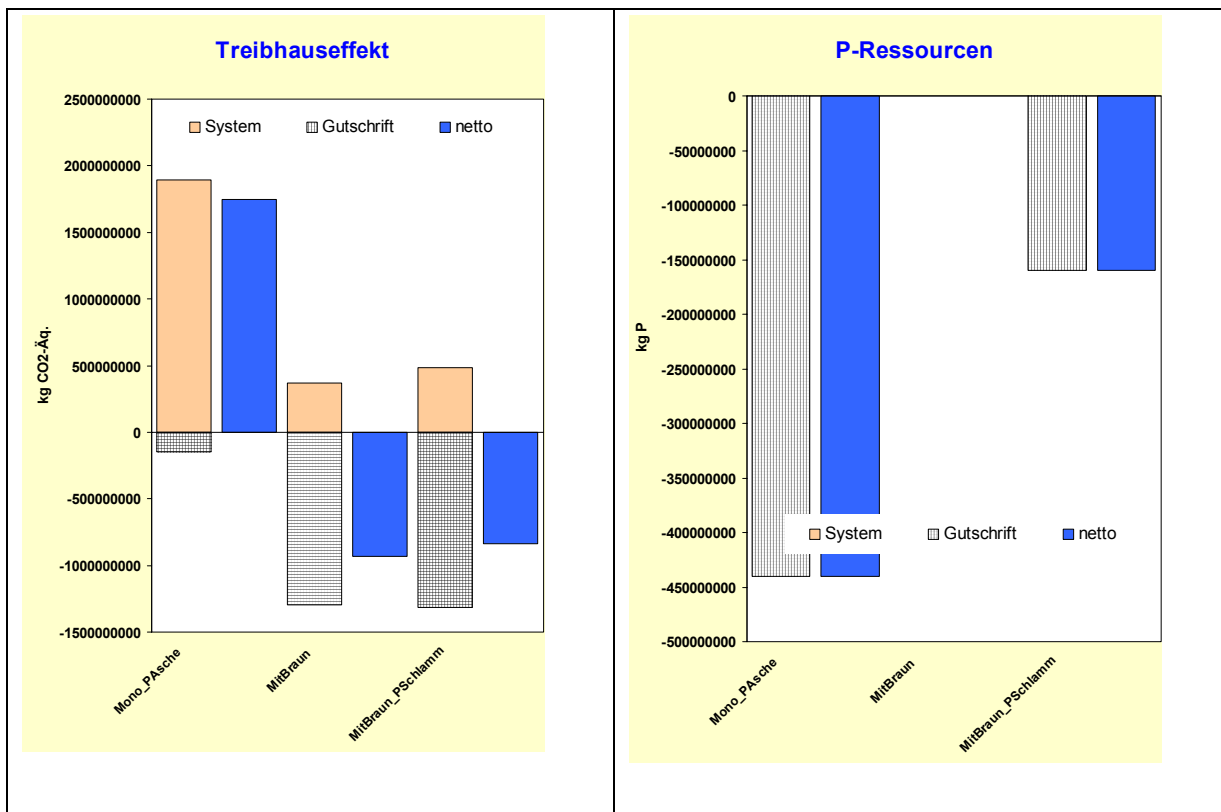


Abbildung 7-22: Ergebnisse der optimierten Entsorgung von kommunalen Klärschlämmen (2.200.000 t Trockensubstanz)

Bei allen weiteren Umweltkriterien sind die mit der Klärschlämm Entsorgung verbundenen Umweltlasten höher als die erzielbaren Substitutionserfolge. Der Ansatz einer Behandlung über eine Klärschlamm-Mono-Verbrennung mit Rücklösung des Phosphors aus der Asche ist dabei tendenziell immer etwas ungünstiger als die diskutierten Alternativen.

Ist eine bessere energetische Einbindung der Klärschlämm Entsorgung nur mit dem Einsatz in einem Kraftwerk möglich, gilt es, die damit verbundenen geringeren Umweltlasten abzuwägen gegenüber den verminderten Erfolgen bei der Rückgewinnung des Phosphors, die dann nur bereits bei der Abwasserreinigung erfolgen könnte. Die Ergebnisse sehen dann günstiger für die Klärschlammmonoverbrennung und Rücklösung aus, wenn die Trocknung des Klärschlamms über eine Abwärmenutzung erfolgen kann und nicht eine reine Verstromung erfolgt.

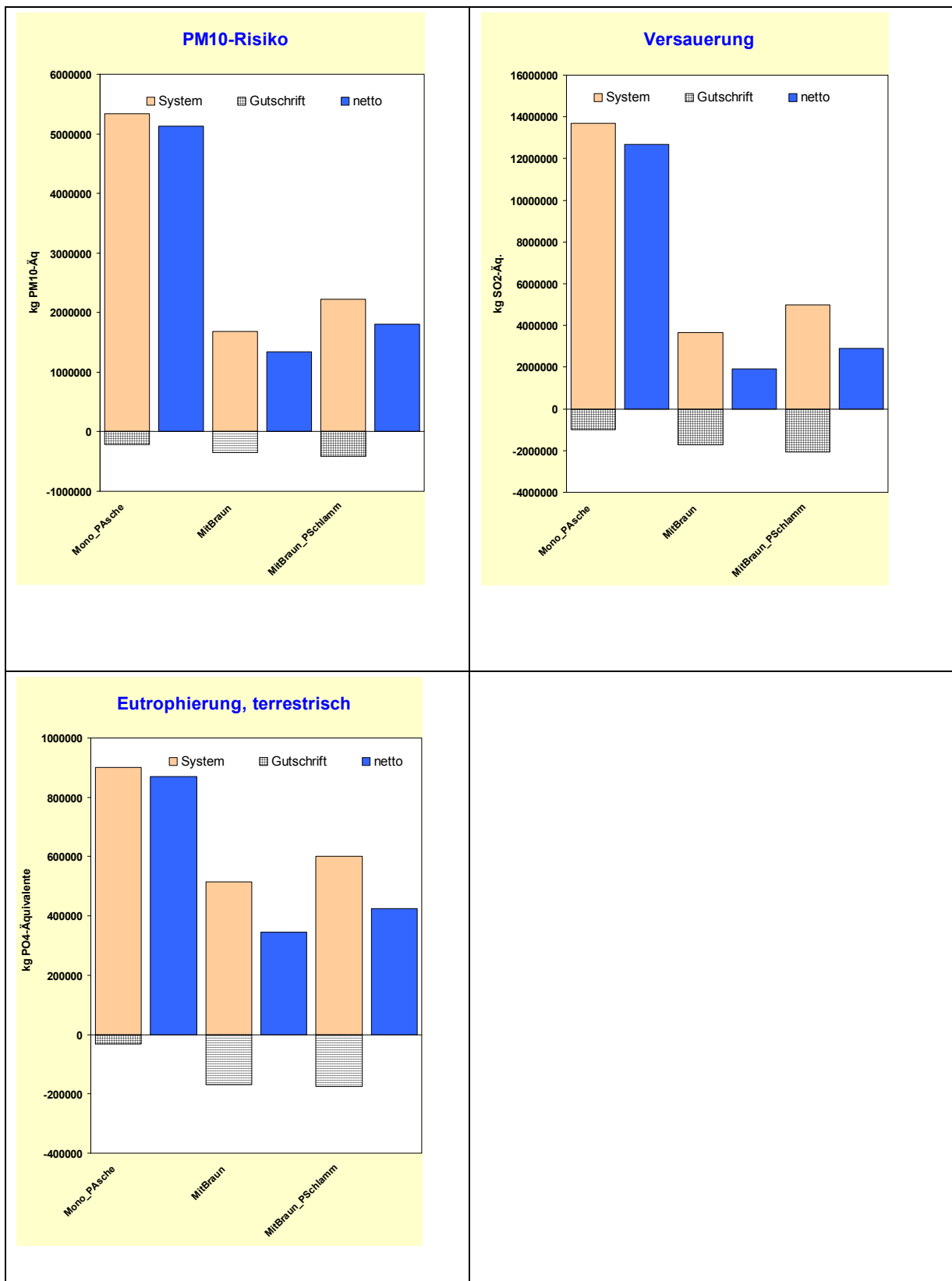


Abbildung 7-23: Ergebnisse der optimierten Entsorgung von kommunalen Klärschlämmen (2.200.000 t Trockensubstanz) - Fortsetzung

Das Ergebnis wird auch von der gewählten Option der P-Rückgewinnung aus der Asche bestimmt. Wie man auch an den Bilanzergebnissen für Tiermehl erkennen kann, ist die Sinterung der Asche mit geringeren Lasten bei den sonstigen Umweltkriterien verbunden, bei mindestens gleichen P-Rückführungsraten.

Eine Rückgewinnung des Phosphors aus dem Schlamm oder der Asche erfordert eine Umstellung in der Abwasserbehandlung auf eine biologische P-Elimination. Da dieses Verfahren auf den meisten Kläranlagen nicht vorhanden ist, würden diese Konzepte umfangreiche Investitionen in Klärtechnik bedeuten.

7.9 Sonstige Kläranlagenabfälle

7.9.1 Stoffströme: sonstige Kläranlagenabfälle

Neben Klärschlämmen fallen an kommunalen Kläranlagen auch Sandfang- und Rechengut zur Entsorgung an. Bei **Sandfanggut** handelt es sich um ein weitgehend inertes Material, das entweder auf Deponien abgelagert wird oder aufbereitet als Baumaterial Verwendung findet. Das spezifische Aufkommen liegt etwa bei 2,6 kg/(E*a) [LUA 2005]. Der Sandfang einer Kläranlage dient der Sedimentation von im Abwasser mitgeführten Feststoffen, d.h. Sand bzw. inerten Stoffe anderer Korngröße. Aufgrund dessen ist dieser Abfallstoff nicht biogen und daher für die Aufgabenstellung des Projektes von Interesse.

Es gibt keine umfassenden Abfallstatistiken der einzelnen Bundesländer oder auch des Bundes, in denen neben den kommunalen Klärschlämmen auch **Rechengut** enthalten ist. Aus den Angaben in den Statistiken einiger weniger Länder kann man ein spezifisches Aufkommen für Rechengut erkennen, das im Bereich zwischen 3 und 3,5 kg/(E*a) Trockensubstanz liegt. Dies würde ein Aufkommen von bundesweit etwa 281.120 t/a bedeuten.

Nach der Erhebung der DWA zu Abfällen aus kommunalen Kläranlagen [Reifenstuhl 2005] wird an den Kläranlagen anfallendes Rechengut teilweise gewaschen und entwässert, bevor es zu etwa je einem Drittel entweder thermisch (38 %) behandelt, kompostiert (27 %) oder auf Deponien abgelagert wird. Nach den Daten für das Land

Nordrhein-Westfalen erreicht bereits im Jahre 1998 der thermisch entsorgte Anteil etwa 50 % des Aufkommens [ifeu 2001].

Rechengut besteht vor allem aus organischem Material (bspw. Holz) und darf seit Mitte 2005 nicht mehr unbehandelt auf Deponien abgelagert werden. Wie auch im Falle anderer Reststoffe mussten für die bislang auf Deponien abgelagerten Mengen andere Entsorgungswege gesucht werden. Dies bedeutet, dass diese bisher abgelagerten Rechengutmengen seit Mitte 2005 entweder als Restabfall in Müllverbrennungsanlagen oder Mechanisch-Biologischen Restabfallbehandlungsanlagen behandelt werden und damit als Anteil der heizwertreichen Fraktion in die energetische Verwertung gelangen. Aufgrund der Holzbestandteile könnte zumindest für einen Teilstrom die energetische Verwertung in Biomassekraftwerken erfolgen.

Die Kompostierung des Rechenguts beschränkt sich auf wenige Anlagen mit geringem Durchsatz und eingeschränkten Vermarktungsmöglichkeiten für den erzeugten Kompost [ifeu 2001]. Für diesen Entsorgungsweg ist deshalb kein weiterer Ausbau der Kapazitäten zu erwarten.

7.9.2 Potenziale: sonstige Kläranlagenabfälle

Aus dieser Übersicht lässt sich für Rechengut kein relevantes Potenzial für eine aus Sicht des Klimaschutzes optimalere Entsorgung erkennen. Das Material wird zu einem erheblichen Anteil bereits energetisch genutzt oder thermisch behandelt. Die Unterschiede ergeben sich dabei von Anlage zu Anlage aus Art und Umfang der Nutzung der erzeugten Energie und lassen sich nicht immer an der Frage Abfallverbrennung oder energetische Nutzung festmachen.

Eine Kompostierung kann ebenfalls sinnvoll sein [ifeu 2001]. Wie bereits für die Grünabfälle ausgeführt: Falls keine hochwertige Verwertung der erzeugten Komposte möglich ist, sollten die Rechengutstoffströme in Richtung energetischer Nutzung gelenkt werden. Dies dürfte unter diesen Randbedingungen dann jedoch auch unabhängig von gezielten Stoffstromlenkungsmaßnahmen durch die Politik erfolgen.

7.10 Fazit für Industrie und Abfallwirtschaft

In vielen gewerblichen und industriellen Zusammenhängen fallen Biomassen als Nebenprodukte, Beiprodukte, Reststoffe oder Abfälle an, für die sich Nutzungs- und Entsorgungswege etabliert haben, die dem Charakter dieser Abfälle entsprechen. In vielen Fällen entspricht diese Nutzung den Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes und hier den Grundpflichten nach § 5, nach denen die Abfälle für eine Verwertung getrennt von anderen Abfallströmen zu halten sind und eine der Art und Beschaffenheit des Abfalls entsprechende hochwertige Verwertung anzustreben ist. Aus der Übersicht über diese Biomassen ließen sich deshalb nur für wenige und nur an einigen Stellen Optimierungspotenziale erkennen. Dies betrifft eine optimierte Nutzung der Bioabfälle aus Haushalten mit einer energetischen Nutzung in Verbindung mit einer Optimierung der Verwertung der erzeugten Komposte sowie die Getrennthaltung der pflanzlichen Fette und Öle aus dem Restabfall aus Haushalten.

Tabelle 7-12: Diskutierte Biomassen und ihre Optimierungspotenziale

	Biomassen	Potenziale
Rückstände aus Schlachthöfen und Tierkörperverwertungsanlagen	Schlachtabfälle	*
	Knochenmehl etc.	*
	Tierfette	*
	Tiermehl	203.600 t
Rückstände aus der Lebensmittel- und Genussmittelindustrie	Trester aus der Getränkeherstellung	*
	Schlempen und Molke	*
	Pressrückstände Ölgewinnung	*
	Rückstände Brauereien	*
Abfallwirtschaft	Alttextilien	*
	Speiseabfälle	*
	Bioabfall aus Haushalten	4.100.000 t
	Biogene Anteile im Restabfall	246.000 t
Wasserwirtschaft	Fettabscheiderinhalte	*
	Kommunale Klärschlämme	8.800.000 t**
	Sonstige Kläranlagenabfälle	*

* im Rahmen dieser Studie wurden keine relevanten, noch nicht genutzten Potenziale identifiziert

** bei angenommenen 25 % TS-Gehalt

Im Fall der kommunalen Klärschlämme und des Tiermehls aus der Tierkörperverwertung ergibt sich ein Optimierungsansatz für eine bessere Nutzung der Ressource Phosphor. Die derzeitige oder in naher Zukunft zu erwartende Nutzung dieser Biomassen lässt aus Sicht des Klimaschutzes keine Optimierungserfordernis erkennen. Diese Verwertungsansätze gehen aber zu Lasten der Nutzung der Ressource Phosphor.

Diskutierte Szenarien

Für diese in Tabelle 7-12 dargestellten Biomassen sind Szenarien aufgezeigt und bilanziert, die eine Optimierung der Verwertung oder Entsorgung aus Sicht des Klimaschutzes und/oder der Schonung von P-Lagerstätten bewirken sollen. Diese Alternativen erreichen diese Ziele für die einzelnen Biomasseströme unterschiedlich gut und sind mit unterschiedlichen und teilweise gegenläufigen Ergebnissen für andere Umweltaspekte verbunden. Es handelt sich immer um Maximalabschätzungen, die unterstellen, dass das zur Verfügung stehende Potenzial der einzelnen Biomassen auch entsprechend umfassend genutzt wird. Auch wenn dies in der Praxis nicht immer erreicht wird, werden die spezifischen Stärken und Schwächen der einzelnen Ansätze deutlich und damit hervorgehoben, an welcher Stelle des Biomassestoffstroms sich eine Optimierung mehr oder weniger lohnt.

Die Ergebnisse dieser vergleichenden Bewertung der einzelnen Entsorgungsansätze für die Biomassen wurden in den entsprechenden Kapiteln ausführlich dokumentiert. Es zeigte sich, dass die unterschiedlichen Ansätze im Vergleich untereinander mit unterschiedlichen Stärken und Schwächen verbunden sind. Zudem sind die Ergebnisse nicht immer gleichgerichtet, das heißt Entsorgungsoptionen können sich bspw. aus Sicht des Ressourcenschutzes (Phosphor) positiv darstellen, in allen weiteren Umweltwirkungskategorien jedoch ungünstiger abschneiden.

8 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

8.1 Biomasseaufkommen

Im Rahmen dieses Projekts wurden die wichtigsten Biomasseströme vom Primäraufkommen in der Land- und Forstwirtschaft bis hin zur Abfallwirtschaft untersucht. Im Folgenden werden zunächst die primären Stoffströme aus Land- und Forstwirtschaft, die in der Summe rund 103 Mio. t_{atro} ausmachen, dargestellt. Ein Großteil dieser Stoffe fällt nach der Nutzung wieder als Reststoff an. Über diese biogenen Reststoffe wird im Anschluss an die Darstellung der primären Biomasseaufkommen ein Überblick gegeben.

Primäres Biomasseaufkommen

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die betrachteten größten primären Biomasseaufkommen aus der Land- und Forstwirtschaft. Hierzu gehören im Bereich der Forstwirtschaft das geschlagene Holz (Stamm- und Industrieholz sowie Schwachholz und Restholz) sowie die Rinde. Im Bereich der Landwirtschaft wird Gülle betrachtet sowie Getreide- und Rapsstroh, Rüben- und Kartoffelblatt und kleinere landwirtschaftliche Biomasseaufkommen wie Reste aus dem Anbau von Sonnenblumen, Hülsenfrüchten und Gemüse. Nicht aufgeführt sind die geernteten Nahrungsmittel und Tierfutter, da sie weder für eine Veränderung der stofflichen bzw. energetischen Nutzung zur Verfügung stehen.

Das Bezugsjahr für die forstwirtschaftlichen Stoffströme ist 2002, für die landwirtschaftlichen Stoffströme 2000 und 2001.

Tabelle 8-1: Überblick über die größten primären Biomasseaufkommen in Land- und Forstwirtschaft, ohne erzeugte Nahrungsmittel und Tierfutter in 2001 bzw. 2002

	Trockenmasse		Stickstoff		Phosphor	
	1.000 t TS/a	%	1.000 t /a	%	1.000 t /a	%
Biomasse aus der Forstwirtschaft						
Einschlag von Stamm- und Industrieholz	24.320	24	39	3	5	2
Einschlag von Waldrestholz und sonstiges Schwachholz	8.350	8	13	1	2	1
Rinde (Verbleib im Wald + Anfall in Industrie)	647	1	3	0,2	0,2	0,1
Summe Forstwirtschaft	33.317	32	56	4	7	3
Biomasse aus der Landwirtschaft						
Getreidestroh	30.970	30	126	9	47	17
Rapsstroh sowie Rüben- und Kartoffelblatt	14.720	14	135	10	6	2
andere Erntereste	890	1	15	1	4	1
Gülle	19.755	19	1.011	73	188	70
Summe Landwirtschaft	66.335	64	1.287	93	245	91
Biomasse aus der Biotop- und Landschaftspflege						
Straßenbegleitgrün (maximal)	730	1	8	1	4	1
private & öffentliche Grünflächen (ohne Holz)	640	1	7	1	4	1
Biotoppflege (maximal)	1.920	2	19	1	9	4
Summe Biotop- und Landschaftspflege	3.290	3	35	3	17	6
Summe	102.942	100	1.378	100	269	100

Die Tabelle 8-1 zeigt, dass aus der Forstwirtschaft rund ein Drittel der dargestellten Biomassen (Trockenmassen) kommen. Hohe Anteile weisen außerdem die Gülle (19 %), das Getreidestroh (30 %) und Rapsstroh sowie Kartoffel- und Zuckerrübenkraut (14 %) auf. Hinzu kommen kleinere Anteile anderer Erntereste und Reste aus der Biotop- und Landschaftspflege.

Für Stickstoff zeigt die Tabelle 8-1, dass die Hauptanteile mit über 70 % aus dem Gülleaufkommen stammen. Weitere 10 % der N-Ströme stammen aus Rapsstroh, Zuckerrüben- und Kartoffelkraut sowie 9 % aus Stroh. Die Forstwirtschaft und die Landschaftspflege spielen hinsichtlich der N-Ströme fast keine Rolle.

Rund 70 % der Phosphorströme stammen aus der Gülle, weitere 17 % aus Getreidestroh. Da sowohl die Gülle als auch der Großteil des Getreidestrohs auf dem Feld verbleiben (direkter Verbleib auf dem Feld oder über den Umweg der Stalleinstreu und Wiederausbringung als Mist) ist der Phosphorkreislauf hier überwiegend geschlossen. Die Forstwirtschaft spielt hinsichtlich der Phosphorkreisläufe fast keine Rolle.

Reststoffaufkommen

Die nachfolgende Tabelle 8-2 gibt einen Überblick über die betrachteten und quantifizierten Biomasseabfälle bzw. Reststoffe. Es handelt sich um rund 110 Mio. Tonnen.

Anzumerken ist hierbei, dass in der nachfolgenden Tabelle 8-2 auch die folgenden Reststoffe aufgeführt sind, die bereits in der Tabelle 8-1 dargestellt sind: Rinde, Getreidestroh, Rapsstroh, Rüben- und Kartoffelblatt, andere Erntereste und Gülle. Diese Stoffströme sind zum einen als primäre Biomasseströme anzusehen, da sie direkt aus der Land- und Forstwirtschaft und nicht aus nachgeschalteten Verarbeitungsschritten stammen. Zum anderen stellen sie Stoffe dar, die als Reststoffe oder Nebenprodukte bei der Holzgewinnung bzw. der Nahrungsmittelerzeugung anfallen.

Nicht vollständig quantifizierbar und daher nicht in dieser Tabelle aufgeführt sind die Rückstände aus der Bewirtschaftung von Obstflächen und einige Rückstände aus der Lebensmittelverarbeitung. Aufgrund der unterschiedlichen Datenquellen variieren die Bezugsjahre für die einzelnen Abfallarten. Für die meisten Abfälle beziehen sich die Daten auf die Jahre 2000, 2001 oder 2002 (vergleiche hierzu Kapitel 4 und 5).

Tabelle 8-2: Jährliches Aufkommen der betrachteten und quantifizierten Biomasseabfälle und Reststoffe

	Trockenmasse		Stickstoff		Phosphor	
	1000 t TS/a	%	1000 t /a	%	1000 t /a	%
Reststoffe aus der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft						
Sägenebenprodukte	5.761	5	9	0,5	1,2	0,3
Altholz	9.680	9	15	0,9	1,9	0,5
Altpapier (aus Altpapiererfassung)	12.393	11	61	3,4	3,7	1,0
Rinde	647	1	3	0,2	0,2	0,1
Papierschlämme	580	0,5	2,8	0,2	0,2	0,0
<i>Summe Forst-, Holz- und Papierwirtschaft</i>	<i>29.061</i>	<i>26,7</i>	<i>91</i>	<i>5,2</i>	<i>7</i>	<i>1,9</i>
Reststoffe aus der Landwirtschaft						
Getreidestroh	30.970	28	126	7,1	47	12,4
Rapsstroh sowie Rüben- und Kartoffelblatt	14.720	14	135	7,6	6,0	1,6
andere Erntereste	890	1	15	0,8	4,0	1,1
Gülle	19.755	18	1.011	57	188	49
<i>Summe Landwirtschaft</i>	<i>66.335</i>	<i>61,0</i>	<i>1.287</i>	<i>72,8</i>	<i>245</i>	<i>64,5</i>
Biotop- und Landschaftspflege						
Straßenbegleitgrün (maximal)	850	1	8	0,5	4	1,1
private & öffentliche Grünflächen (ohne Holz)	680	1	7	0,4	4	1,0
Biotoppflege (maximal)	1.193	1	19	1	9	2
<i>Summe Biotop- und Landschaftspflege</i>	<i>2.723</i>	<i>2,5</i>	<i>35</i>	<i>2,0</i>	<i>17</i>	<i>4,5</i>
Sonstige Reststoffe aus Industrie und Abfallwirtschaft						
Tierkörperverwertungsanlagen						
Schlachtabfälle	59	0,1	1,2	0,1	0,348	0,1
Knochenmehl	189	0,2	13	0,7	23	6,0
Tierfette	284	0,3	0,3	0,0	0,6	0,1
Tiermehl	388	0,4	38,8	2,2	12	3,2
<i>Summe Tierkörperverwertungsanlagen</i>	<i>920</i>	<i>0,8</i>	<i>53</i>	<i>3,0</i>	<i>36</i>	<i>9,4</i>
Rückstände aus der Lebensmittel- und genussmittelindustrie						
Kartoffelschlempe	43	0,0	2	0,1	0,2	0,0
Apfeltrester	63	0,1	1	0,0	0,1	0,0
Biertreber	700	0,6	32	1,8	4,6	1,2
Melasse	720	0,7	11	0,6	0,9	0,2
<i>Summe Lebensmittel- und Genussmittelindustrie</i>	<i>1.525</i>	<i>1,4</i>	<i>45</i>	<i>2,6</i>	<i>6</i>	<i>1,5</i>
Abfallwirtschaft						
Alttextilien (Sammelmenge)	716	0,7	25	1,4	0,3	0,1
Speiseabfälle	43	0,0	1	0,0	0,2	0,1
Bioabfall aus Haushalten	2.400	2,2	40	2,2	10	2,7
Biogene Anteile im Restabfall	2.844	2,6	47	2,7	12	3,2
<i>Summe Abfallwirtschaft</i>	<i>6.003</i>	<i>5,5</i>	<i>112</i>	<i>6,3</i>	<i>23</i>	<i>6,1</i>
Abwasserwirtschaft						
Fettabscheiderinhalte	67	0,1	1	0,1	0,1	0,0

Die Tabelle zeigt, dass Getreidestroh (28 %), Gülle (18 %), Rapsstroh, Kartoffel- und Rübenblatt (13 %), Altpapier (11 %) und Altholz (9 %) die bedeutendsten Biomassen aus Reststoffen sind. Sägenebenprodukte stellen 5 % der Trockenmasse. Im Bereich von 2-3 % liegen Reststoffe aus der Biotopflege, andere Erntereste, Bioabfälle aus Haushalten (Biotonne), biogene Anteile im Restmüll und kommunaler Klärschlamm.

Hinsichtlich des Stickstoffs sind Gülle, Klärschlamm, Getreide- und Rapsstroh sowie andere Erntereste die relevantesten Stoffströme.

Hinsichtlich des Phosphors sind die Hauptanteile in Gülle (49 %), im kommunalen Klärschlamm und in Getreidestroh (jeweils 12 %) und in Knochen- und Tiermehl (9 %) zu finden.

8.2 Potenziale

Potenziale in der Land- und Forstwirtschaft

Die nachfolgende Tabelle 8-3 gibt einen Überblick über das theoretische Gesamtpotenzial, das technisch-ökologische Gesamtpotenzial und das noch nicht genutzte technisch-ökologische Potenzial (vgl. Definition der Potenziale in Kap. 3 auf Seite 2).

Tabelle 8-3: Potenziale in der Land- und Forstwirtschaft

	Gesamtes theoretisches Potenzial 1.000 t TS	Gesamtes technisch- ökologisches Potenzial 1.000 t TS	Noch nicht genutztes technisch- ökologisches Potenzial 1.000 t TS
Holzgewinnung in der Forstwirtschaft			
Stamm- und Industrieholz	36.000	11.700	9.400
Waldrestholz und sonstiges Schwachholz	16.600	12.400 - 14.900	4.100 - 6.600
Summe	52.600	24.100 - 26.600	13.500 - 16.000
Reststoffe aus der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft			
Sägenebenprodukte	5.761	5.761	*
Altholz	9.680	9.680	*
Altpapiererfassung beim Endverbraucher	12.330	10.080	*
Rinde	647	610	*
Papierschlämme	580	580	*
Summe	28.998	26.711	*
Reststoffe aus der Landwirtschaft			
Getreidestroh	30.970	3.600	3.420
Rapsstroh sowie Rüben- und Kartoffelblatt	14.720	6.230	6.230
andere Erntereste	k.A.	k.A.	k.A.
Gülle	20.143	18.344	16.358
Summe	65.833	28.174	26.008
Biotop- und Landschaftspflege			
Straßenbegleitgrün (maximal)	778	438	438
private & öffentliche Grünflächen (ohne Holz)	638	468	468
Biotoppflege (maximal)	1.913	947	947
Summe	3.328	1.852	1.852

* im Rahmen dieser Studie wurden keine relevanten noch nicht genutzten Potenziale identifiziert

Tabelle 8-3 zeigt, dass bei der Holzgewinnung in der Forstwirtschaft, selbst unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien, noch hohe ungenutzte technisch-ökologische Potenziale in der Größenordnung von 13 Mio. – 16 Mio. t_{atro} liegen¹. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass sich die Höhe dieses noch ungenutzten Potenzials

¹ Hinter dieser Zahlenangabe stehen komplexe Potenzialermittlungen, die zusammenfassend auf Seite 36 und detaillierter auf Seite 21 ff. dargestellt sind.

nur mit hohen Unsicherheiten abschätzen lässt. Dies gilt sowohl für die Ermittlung des vorhandenen Gesamtpotenzials als auch für die Abschätzung des derzeitigen Holzverbrauchs. Zur energetischen Nutzung von Waldholz in Haushalten und Gewerbe geht beispielsweise das Umweltbundesamt im Rahmen der nationalen Emissionsberichtserstattung von einer um 0,5 Mio. t_{atro} höheren Verbrauchsmenge im Vergleich zu den Daten, die Tabelle 8-3 zugrunde liegen, aus (vgl. Seite 42 ff).

Bei den Reststoffen aus der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft bestehen zwar hohe Gesamtpotenziale von 28 Mio. – 29 Mio. t, jedoch sind diese bereits heute ausgeschöpft bzw. werden im Verlauf der nächsten Jahre im Bereich des technisch Machbaren und des ökologisch Verträglichen nahezu vollständig ausgeschöpft sein, so dass hier keine ungenutzten technisch-ökologischen Potenziale identifiziert werden konnten².

Im Bereich der Landwirtschaft liegen hohe ungenutzte Potenziale in der Gülle- und Strohnutzung (16 Mio. t_{atro}), Stroh (3 Mio. t_{atro}) und Rapsstroh, Rüben- und Kartoffelblatt (6 Mio. t_{atro}). Beim Stroh ist bereits berücksichtigt, dass ein hoher Strohanteil auf dem Acker verbleibt, um einen ausgewogenen Humushaushalt sicherzustellen. Im Bereich der Biotop- und Landschaftspflege inklusive der Biomasse aus privaten Gärten und des Begleitgrüns von Verkehrswegen liegt ein ungenutztes Potenzial von etwa 2 Mio. t_{atro} .

Sonstige Potenziale in Industrie und Abfallwirtschaft

Für die zahlreichen untersuchten sonstigen Reststoffe aus der Industrie und der Abfallwirtschaft (vgl. Tabelle 8-2) gilt, dass sie ebenso wie die Reststoffe aus der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft zum Großteil nahezu vollständig verwertet werden. Die Fragestellung lautete bei den meisten dieser Reststoffe daher vielmehr, ob es Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich der Art und der Anteile der einzelnen Entsorgungswege gibt. Als Ergebnis werden die Reststoffe, bei denen Optimierungspotenziale identifiziert wurden, in der nachfolgenden Tabelle 8-4 einschließlich der in den Szenarien vertieften Maßnahmen und der betrachteten Mengen dargestellt.

² Sägenebenprodukte, Altholz und Papierschlämme werden nahezu vollständig stofflich oder thermisch verwertet. Bei der Altpapierfassung beim Endverbraucher besteht ein ungenutztes Potenzial von rund 2,25 Mio. t_{atro} , das nur durch sehr intensive Anstrengungen erschlossen werden könnte. Das erfasste Altpapier wird annähernd vollständig verwertet. Ebenfalls fast vollständig verwertet wird Rinde. Ein kleiner Teil verbleibt im Wald und wird dort in den Humus- und Nährstoffkreislauf zurückgeführt.

Tabelle 8-4 Identifizierte Optimierungspotenziale bei sonstiger Industrie- und Abfallwirtschaft

Stoffstrom	Maßnahme	Betrachtete Menge bzw. nutzbare Massen (in 1.000 t)
Tiermehl	Phosphorrückgewinnung	204
Bioabfälle	Vergärung anstatt Kompostierung und Verwertung als Torfsubstitut	4.100
Altspeisefette	Vergärung oder direkte Nutzung in BHKW	250
Klärschlamm*	Phosphorrückgewinnung	2.200

* Trockenmasse

Die Tabelle 8-4 zeigt für die Reststoffe Tiermehl, Bioabfall, Altspeisefette und Klärschlamm mögliche Optimierungsmaßnahmen, die in entsprechenden Szenarien gerechnet und überprüft wurden.

8.3 Szenarien

Die Ergebnisse der vergleichenden Bewertung der einzelnen Entsorgungsansätze für die verschiedenen Biomassen wurden in den entsprechenden Kapiteln ausführlich dokumentiert. Es zeigte sich, dass die unterschiedlichen Ansätze im Vergleich untereinander mit unterschiedlichen Stärken und Schwächen verbunden sind. Zudem sind die Ergebnisse nicht immer gleichgerichtet, das heißt Entsorgungsoptionen können sich bspw. aus Sicht des Ressourcenschutzes (Phosphaterz) positiv darstellen, in allen weiteren Umweltwirkungskategorien jedoch ungünstiger abschneiden.

In einem letzten Schritt gilt es nun die Frage zu beantworten, welche Optimierung an welchem Biomassestrom die vergleichsweise größten Erfolge verspricht. Hierzu ist eine quantitative Gegenüberstellung der jeweiligen Netto-Ergebnisse notwendig, und zwar als Differenz zum jeweiligen Status quo der Entsorgung oder Verwertung, für die einzelnen diskutierten Kriterien und Biomasseströme. So lässt sich aufzeigen, mit welcher Veränderung eine Beeinflussung der Biomassen gegenüber der heutigen Situation in Bezug auf die verschiedenen Umweltkriterien verbunden wäre.

Aufbauend auf der Analyse der Stoffströme und der Potenziale wurden verschiedene Szenarien betrachtet, die in der nachfolgenden Tabelle 8-5 stichpunktartig aufgelistet werden. Die Tabelle gibt auch einen Überblick, ob die Ergebnisse eine relevante

Umweltentlastung erkennen lassen. Hierbei wurden die Ergebnisse dann als umweltrelevant gekennzeichnet, wenn in einer Wirkungskategorie die Umweltentlastung größer als 0,1 % der Gesamtbelastung in Deutschland in 2003 (vgl. Tabelle 3-2) beträgt, bzw. wenn eine Schonung der Phosphorressourcen erreicht wird.

Tabelle 8-5 Überblick über die betrachteten Szenarien

Stoffstrom	Kriterien in denen Umweltentlastung relevant sind
Forst-, Holz- und Papierwirtschaft	
Altpapier und Waldholz:	
Verstärkter Einsatz von Zellulosedämmstoffen aus Altpapier und Substitution des Altpapierstroms durch eine verstärkte Nutzung von Waldholz	-
Sägenebenprodukte:	
Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie	Treibhaus, ROE
Landwirtschaft	
Stroh:	
Energetische Nutzung	Treibhaus, ROE
Gülle:	
Energetische Nutzung	Treibhaus, ROE
Sonstige Industrie und Abfallwirtschaft	
Tiermehl:	
Verbrennung und Phosphorrückgewinnung aus der Asche	P-Ressourcen
Mitverbrennung und direkte Nutzung der Asche	P-Ressourcen
Bioabfälle:	
Vergärung und anschließende Nutzung als Bodenverbesserer	Treibhaus, Versauerung, PM 10
Altspeisefette aus Haushalten:	
Erfassung über die Biotonnen und Verwertung in Vergärungsanlagen	-
Getrennte Erfassung und Verwertung im Blockheizkraftwerk	Treibhaus
Kommunale Klärschlämme	
Phosphorrückgewinnung aus der Asche	P-Ressourcen
Phosphorrückgewinnung bei der Abwasserreinigung	P-Ressourcen

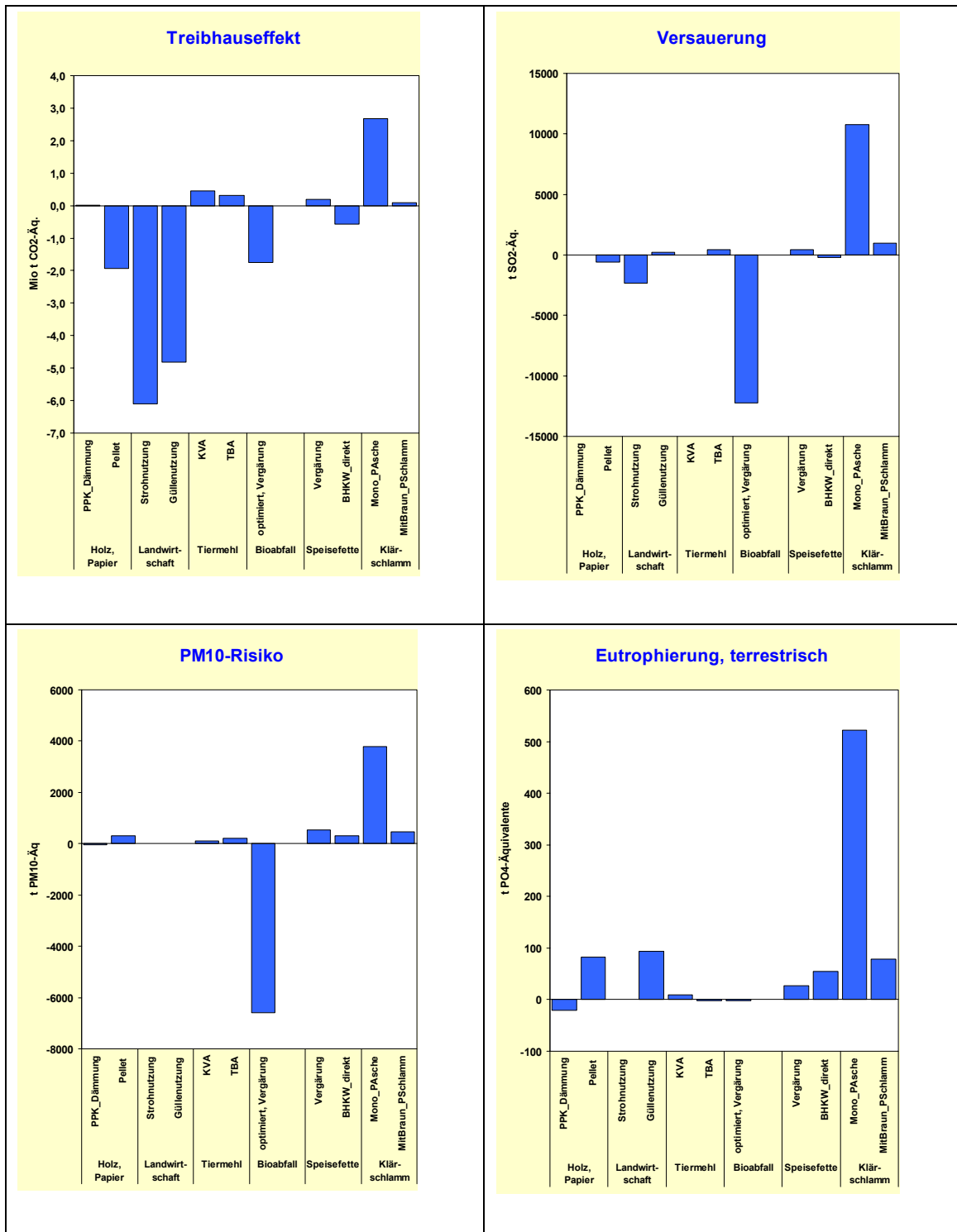


Abbildung 8-1: Vergleichende Betrachtung der Optimierungspotenziale von Biomasseströmen gegenüber dem Status Quo bzw. dem zu erwartenden zukünftigen Umgang³

³ Die Szenarien für Stroh und Gülle sind im Gegensatz zu den anderen Szenarien mit der Software GEMIS erstellt worden, die keine PM10-Emissionen angibt. Daher fehlen hier die

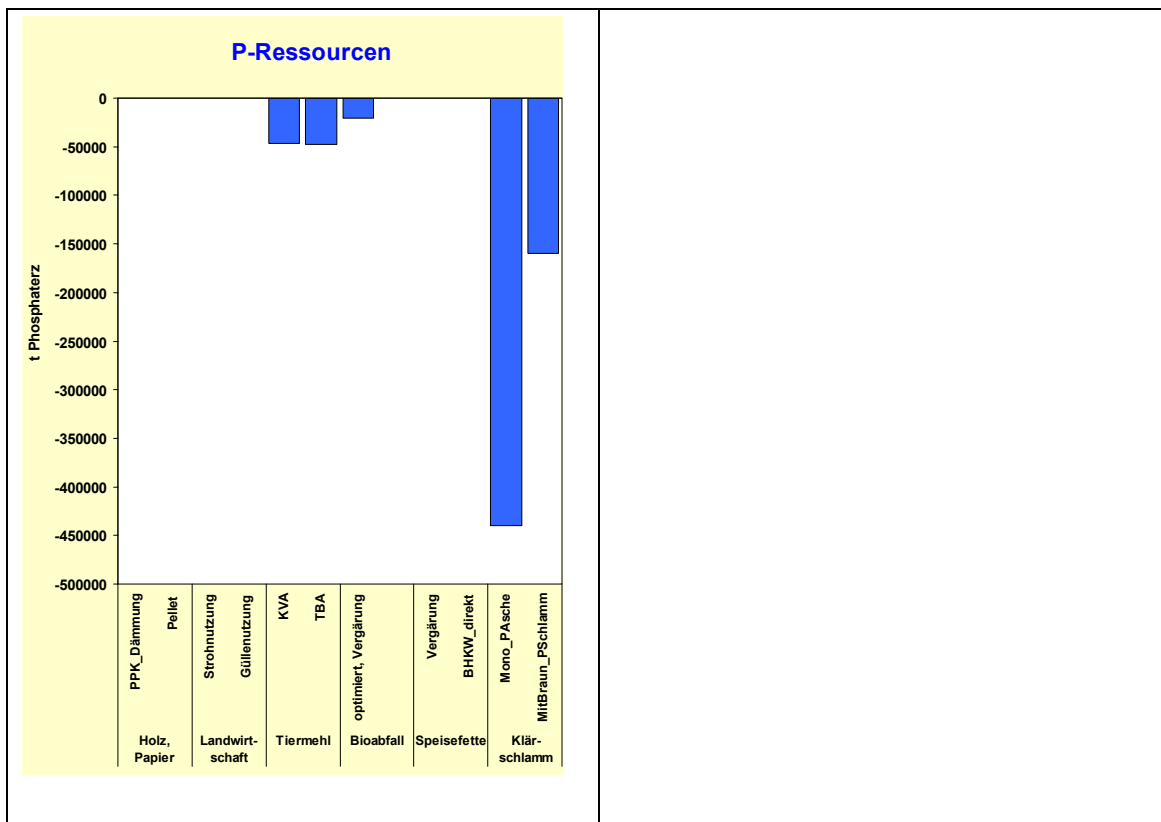


Abbildung 8-1 (Fortsetzung)

Eine graphische Übersicht über alle Szenarioergebnisse gibt Abbildung 8-1. Die nachfolgenden Ergebnisse sind immer eine Differenz aus zukünftiger Option gegenüber dem Status Quo in deren Umwelterfolgen und Umweltlasten. Es wird dargestellt, mit welchen Umweltfolgen eine Lenkung der Stoffströme weg vom derzeitigen Status Quo (oder der zukünftig zu erwartenden Verwertung) hin zu einem anderen Nutzungsansatz verbunden ist. Die Balken nach oben weisen auf damit verbundene zusätzliche Lasten hin, Balken nach unten auf erzielbare Entlastungseffekte.

Von den untersuchten Szenarien/Unterszenarien kamen acht zu einem positiven Ergebnis. Diese Szenarien/Unterszenarien, die relevante Umweltentlastungen ermittelt haben, werden im Folgenden kurz dargestellt:

in der Abbildung die entsprechenden Balken – die Emissionen sind nicht als Null anzusehen.

Optimierung von Biomasseströmen mit der Zielsetzung Schonung der Ressource Phosphaterz

Die Biomasseströme Tiermehl und Klärschlamm wurden allein unter dem Gesichtspunkt einer Optimierung der Verwertungswege zur besseren Rückgewinnung von Phosphor diskutiert. Aus energetischer Sicht erfolgt die derzeitige Verwertung bei Tiermehl und die sich für kommunale Klärschlämme abzeichnende Entsorgung nahezu optimal. Ihre thermische Behandlung in Zementwerken, Kraftwerken oder anderen Verbrennungsanlagen lässt sich aus Sicht der Energiegewinnung kaum verbessern.

- Für die Rückgewinnung von Phosphor haben kommunale Klärschlämme das größte Potenzial. Dabei ist die Option vergleichsweise am besten, die Phosphor über die Asche nutzt, da diese mit den vergleichsweise geringsten Verlusten verbunden ist, soweit die vorhandene Datenlage hierzu schon belastbare Aussagen zulässt. Dies setzt jedoch eine Monoverbrennung des Klärschlammes voraus, die aus energetischer Sicht in aller Regel wenig vorteilhaft ist. Unter allen diskutierten Umweltwirkungskategorien ist diese Option wegen der geringeren Substitutionserfolge gegenüber einer Mitverbrennung von Klärschlämmen in einem Braunkohlekraftwerk nachteilig. Bei der Klärschlammmitverbrennung in Braunkohlekraftwerken muss ein besonderes Augenmerk auf die Abscheidung leichtflüchtiger Schwermetalle in der Rauchgasreinigung gelegt werden.
- Wird Phosphor bereits bei der Abwasserreinigung separiert, werden auf der einen Seite zwar geringere Erfolge in der P-Rückgewinnung verzeichnet. Auf der anderen Seite ist der damit verbundene Aufwand jedoch relativ gering, so dass eine Kombination aus P-Rückgewinnung und Verbrennung in einem Braunkohlekraftwerk gegenüber einer ausschließlichen Verbrennung in einem derartigen Kraftwerk in vielen Umweltkriterien kaum schlechter abschneidet, soweit sich dies aus der vorhandenen Datenlage zur P-Rückgewinnung schon belastbar beurteilen lässt.
- Weniger Potenzial bietet die Rückgewinnung aus dem Biomassestrom Tiermehl, wobei hier konservativ nur von der Menge Tiermehl aus Risikomaterial ausgegangen wurde. Die spezifischen Erfolge sind gut, die spezifischen Umweltlasten gegenüber den Klärschlammansätzen geringer, soweit sich dies nach dem derzeitigen Kenntnisstand beurteilen lässt. Hierbei unterscheiden sich die beiden diskutierten alternativen Ansätze kaum. Die mit diesen Ansätzen verbundenen Umweltlasten sind in beiden Fällen höher als bei der Entsorgung

über Zementwerke, der derzeitigen Entsorgungspraxis, wobei im Vergleich dieser beiden Ansätze untereinander keine eindeutige Tendenz abzulesen ist.

Optimierung von Biomasseströmen aus Sicht des Klimaschutzes

Sägenebenprodukte: Ausbau der Pelletproduktion und Rohstoffsubstitution in der Holzwerkstoffindustrie

Sägespäne werden derzeit noch zu einem großen Anteil in der Holzwerkstoffindustrie verwertet. Die Holzwerkstoffindustrie verwendet zugleich große Mengen von Holz aus der Forstwirtschaft (Waldholz) und könnte die Sägespäne ohne große technologische Umstellungen und Qualitätseinbußen durch Waldholz substituieren. Für die Sägespäne wiederum steht mit den Pellet-Kleinf Feuerungen ein möglicher Abnehmer zur Verfügung, der über keine anderen Biomasse-Substitutionsmöglichkeiten verfügt. Nur mit Pelletheizungen kann die Nachfrage nach automatisierten Feststofffeuerungen auf Basis erneuerbarer Rohstoffe in Ein- bis Zweifamilienhäusern gedeckt werden. Das Szenario geht davon aus, dass ein Großteil der Sägespäne in die Pelletherstellung umgelenkt wird und damit Öl- und Gasheizungen substituiert werden. Zugleich steigert die Holzwerkstoffindustrie ihren Holzbezug aus der Forstwirtschaft. Dieses Vorgehen ist aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen sehr zu empfehlen. Vermehrte Umweltbelastungen treten hingegen für die Eutrophierung und das PM10-Risiko auf.

Stroh – Energetische Nutzung

Für die Optimierung der Strohnutzung wird hier die Mitverbrennung in Kraftwerken mit fossiler Feuerung betrachtet.

Es wird angenommen, dass Stroh entweder als Festbrennstoff Kohle substituiert oder als Stroh-Synthesegas Erdgas ersetzt. Insgesamt führt dieses Szenario zu einer deutlichen Einsparung an Treibhausgasen, insbesondere im Fall der Kohlesubstitution. Angesichts der Substitution von Kohle und Erdgas erfolgt auch eine Entlastung bei der Inanspruchnahme fossiler Ressourcen. In Bezug auf die Versauerung führt nur die Substitution von Kohle zu einer Verbesserung der Umweltsituation, bei der Substitution von Gas nehmen die versauernd wirkenden Emissionen dagegen zu. Für die terrestrische Eutrophierung bewirkt die Strohmitverbrennung in jedem Falle eine höhere Belastung als die Nutzung von Kohle und Erdgas.

Die in dem Szenario angenommene Höhe der Strohentnahme gewährleistet einen hohen Strohverbleib auf dem Acker, der eine ausgeglichene Humusbilanz der Ackerböden sicherstellt.

Gülle – Energetische Nutzung

Die umfassende Biogasgewinnung aus Gülle stellt eine Optimierung dieses landwirtschaftlichen Reststoffstroms dar. Die Biogasanlage stellt lediglich einen zusätzlichen Schritt zwischen der Lagerung und der Aufbringung auf das Feld dar. Der ökologische Nutzen der Güllevergärung liegt in einer eindeutigen Verringerung bei der Emission von Treibhausgasen: Erstens können Methanemissionen aus der Güllelagerung reduziert werden und zweitens wird durch das Biogas fossiles Erdgas substituiert. Entsprechend kommt es auch zu einer Entlastung bei der Inanspruchnahme fossiler Ressourcen. Gleichzeitig führt die Biogasnutzung zu Belastungen im Bereich der Versauerung und der terrestrischen Eutrophierung. Der Beitrag der Klimaentlastung zur Reduktion der Gesamtemissionen an klimawirksamen Gasen ist jedoch deutlich größer als der relative Beitrag der Belastung in den anderen Wirkungskategorien.

In der Gesamtbewertung ist der Umweltnutzen am größten, wenn das Biogas in Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung mit möglichst hoher Wärmenutzung eingesetzt wird. Dies kann erreicht werden, indem entweder eine entsprechende Wärmenachfrage in der Nähe der landwirtschaftlichen Betriebe angesiedelt wird oder eine Einspeisung des Biogases ins Erdgasnetz erfolgt.

Bioabfälle – Vergärung und anschließende Nutzung als Bodenverbesserer

Unterstellt man, dass ein erheblicher Anteil der getrennt erfassten Bioabfälle anstatt ausschließlich kompostiert zu werden in Richtung einer Biogaserzeugung in Vergärungsanlagen gelenkt würde, ist dies aus Sicht des Klimaschutzes und unter allen weiteren diskutierten Umweltaspekten vorteilhaft. Dies gilt umso mehr, wenn auch die erzeugten Komposte zukünftig ökologisch vorteilhafter als bislang (insbesondere in Konkurrenz zu Torf) vermarktet werden und für die Energienutzung günstige Randbedingungen angenommen werden können. Werden Vergärungsanlagen neu errichtet, ist auf eine optimale Einbindung zur Wärmenutzung oder die Möglichkeit der Aufbereitung von Biogas in Erdgasqualität und dessen Einspeisung zu achten.

Altspeisefette aus Haushalten – energetische Verwertung im Blockheizkraftwerk

Das Szenario geht davon aus, dass Altspeisefette nicht über die Restmülltonne in der Müllverbrennungsanlage entsorgt werden, sondern über eine getrennte Erfassung einer energetischen Verwertung über Motoren im Blockheizkraftwerk zugeführt werden. Dieser Entsorgungsweg schneidet aus Sicht des Klimaschutzes umso günstiger ab, je geringer man den Aufwand für die Aufbereitung als Brennstoff in Blockheizkraftwerken hält. Die getrennte Erfassung und Verwertung in einer Vergärungsanlage ist demgegenüber deutlich ungünstiger. Bei beiden Szenarien ist auf die Sammlungslogistik zu achten. Die Sammlung hat möglichst dezentral zu erfolgen, um Transportaufwendungen mit PKW zu minimieren.

Grünabfälle aus der Landschaftspflege und der Pflege von Grünflächen

Diese Biomasse ließ sich auf Grund unbekannter sehr heterogener Zusammensetzung und unklarer Daten zum jährlichen Aufkommen nicht analog zu den übrigen Biomassen quantitativ bilanzieren. Es wurde jedoch deutlich, dass diesen Biomassen aus Sicht des Klimaschutzes eine hohe Bedeutung zuzumessen ist.

Für eine energetische Nutzung der holzigen Teilmengen müssen diese zerkleinert werden, um einen vergleichsweise homogenen Brennstoff zu erhalten. Diese Zerkleinerung erfolgt bereits heute, um einen Einsatz als Mulchmaterial zu ermöglichen. Es verbleibt demnach gegenüber der heutigen Situation als zusätzlicher Aufwand allein der Transport zu Verbrennungsanlagen, was – wie dargestellt werden konnte – aus ökologischer Sicht angesichts des damit verbundenen Nutzens auch über größere Distanzen gerechtfertigt wäre.

Grasschnitt als weiterer Teilstrom der Grünabfälle wird bereits heute zumindest teilweise von den Flächen geborgen. Um eine Verfilzung der Grassoden zu verhindern und den Artenreichtum der Flächen zu erhalten, ist eine derartige Bergung auf jeden Fall sinnvoll. Zur Bergung des Grasschnitts wird dieser auf Fahrzeuge verladen, so dass auch hier der Mehraufwand für eine nachfolgende energetische Nutzung nur im Transport läge. Auch hier wäre aus ökologischer Sicht ein Transport zur Vergärungsanlage auch über weitere Distanzen angesichts des Nutzens gerechtfertigt.

Eine genauere Bestimmung geeigneter Standorte und Logistikkonzepte ist hier notwendig, war jedoch nicht Gegenstand dieser Studie. Die Nutzung holzartiger Reste wird dabei einfacher zu realisieren sein, als für Halmgüter.

9 Schlussfolgerungen für das Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen und –reststoffen

Die Stoffstromanalyse hat gezeigt, dass die Verwertung von biogenen Reststoffen im industriellen Bereich, insbesondere in der Holz- und Papierindustrie sowie in der Abfallwirtschaft, bereits weitestgehend optimiert ist. Hier konnten rein mengenmäßig nur kleinere Optimierungspotenziale identifiziert werden.

Größere ungenutzte Potenziale liegen hingegen in der Forstwirtschaft, speziell im Bereich der Holzgewinnung. Die Höhe dieses noch ungenutzten Potenzials lässt sich jedoch nur mit hohen Unsicherheiten abschätzen. Dies betrifft sowohl hochwertige Holzsortimente für die Sägeindustrie als auch Sortimente für die Holzwerkstoff- und Papierindustrie und die energetische Verwertung in Form von Scheitholz oder Hack-schnitzeln.

In der gleichen Größenordnung wie die ungenutzten Potenziale in der Forstwirtschaft liegen die noch ungenutzten Potenziale bei der energetischen Verwertung der Gülle. Des Weiteren liegen ungenutzte Potenziale in der Strohnutzung und in der Vergärung von Rapsstroh, Rüben- und Kartoffelblatt. Für Stroh gilt dies auch dann noch, wenn ein hoher Anteil des Strohs (63 %) auf dem Acker verbleibt, um eine ausgewogene Humusbilanz sicherzustellen.

Das bedeutet, dass das Angebot an noch nicht genutztem Holz, Stroh, Gülle, Kartoffel- und Rübenblatt so hoch ist, dass eine Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung zunächst nicht zu erwarten ist. Hingegen ist festzustellen, dass im Rahmen der Untersuchung keine stofflichen Nutzungen identifiziert werden konnten, die in der Lage wären, einen Großteil der zur Verfügung stehenden Mengen zu nutzen und damit andere fossile Ressourcen zu substituieren. Die Untersuchung hat gezeigt, dass alle Szenarien, in denen ein relevanter positiver Beitrag zum Klimaschutz ermittelt wurde, auf der energetischen Nutzung von biogenen Reststoffen beruhen.

Um die zurzeit brachliegenden Potenziale zu nutzen, ist es dennoch empfehlenswert, entsprechende werkstoffliche Nutzungen zu fördern. Dies ermöglicht Nutzungskaskaden. Nach Ablauf der Lebens- oder Anwendungszeit des mit Hilfe von Biomasse erzeugten Werkstoffs verbleibt dessen energetische Verwendung als Zweitnutzen.

Ein wesentlicher Baustein der Ausschöpfung der ungenutzten Potenziale wird jedoch die energetische Nutzung sein, da eine entsprechende hohe Strom- und Wärmenachfrage besteht und die benötigten Technologien zur Verfügung stehen oder sich in der Entwicklung befinden.

Grünabfälle aus der Pflege von öffentlichen Grünflächen und aus der Biotop- und Landschaftspflege fallen jährlich in großen Mengen an und werden zum weit überwiegenden Teil nicht genutzt, sondern gemulcht und auf den Flächen belassen. Insbesondere für Magerstandorte, die einer Aushagerung bedürfen, ist damit kein Nutzen verbunden. Im Gegenteil wäre eine Abfuhr dieser Grünabfälle aus Sicht des Naturschutzes angezeigt. Unterstellt man selbst ein geringes spezifisches energetisches Potenzial für diese Grünabfälle, lohnt sich – wie gezeigt werden konnte – aus ökologischer Sicht eine Anlieferung an Verwertungsanlagen auch über größere Distanzen.

Neben der verstärkten Nutzung von Holz, Stroh, Gülle, Rapsstroh, Kartoffel- und Rübenblatt sowie Reststoffen aus der Landschaftspflege hat die Untersuchung weitere Optimierungspotenziale unter dem Gesichtspunkt Klimaschutz identifiziert:

- Die Vergärung und Nachkompostierung von getrennt erfassten Bioabfällen aus Haushalten führt gegenüber der derzeit verbreiteten Kompostierung der Abfälle zu einer deutlichen Verbesserung in allen betrachteten Umweltwirkungskategorien.
- Eine getrennte Erfassung von Altspeisefetten aus Haushalten und eine Verwertung in Blockheizkraftwerken können zu relevanten Verbesserungen im Klimaschutz führen. Vergleichbar wäre auch eine Aufbereitung und Nutzung als Fahrzeugtreibstoff. Angesichts des kleinen spezifischen Mengenaufkommens ist jedoch auf eine aus ökologischer Sicht optimale Sammellogistik zu achten.
- Die Stoffstromverlagerung von Sägespänen aus Sägewerken weg von der Holzwerkstoffindustrie hin zur Pelletherstellung und der nachfolgenden Verfeuerung in Kleinanlagen kann die Nutzung von Holz aus Forstwirtschaft indirekt steigern, wenn die Holzwerkstoffindustrie die Sägespäne durch Holz aus der Forstwirtschaft substituiert.

In der Summe aller aufgezeigten Maßnahmen wurde durch die beispielhaften Szenarien ein Reduktionspotenzial durch den optimierten Umgang mit Bioabfällen und bisher

ungenutzten Bioestmassen von ca. 15 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr aufgezeigt. Das entspricht etwa 1,5 % der Gesamtemissionen in Deutschland und ca. 6 % der bis 2012 geplanten Reduktion von 21 %.

Für eine Phosphorrückgewinnung aus Reststoffen hat die Untersuchung gezeigt, dass die Rückgewinnung aus dem Abwasser ein großes Potenzial aufweist und im Vergleich zu anderen untersuchten Varianten nicht zu erheblichen Belastungen in weiteren Umweltwirkungskategorien führt.

Erfolgt die Klärschlammnutzung zukünftig nicht mehr stofflich über die Ausbringung als Düngemittel auf Böden, bieten sich verschiedene Optionen der Rückgewinnung von Phosphor an. Die aufgezeigten Umwelteffekte sind unter dem Vorbehalt zu sehen, dass diese Optionen alle noch nicht im Entsorgungsbetrieb umgesetzt sind und die Datenlage entsprechend schlecht ist. Trotzdem wird deutlich, dass die verstärkte Rückgewinnung von Phosphor aus dem Abwasserstrom, d.h. in der Abwasserbehandlung, eine wichtige Option darstellen kann. Der damit verbundene ökologische Aufwand steht in einem guten Verhältnis zu dem erzielbaren Effekt der Ressourcenschonung.

Sollen jedoch möglichst hohe P-Rückgewinnungsquoten erreicht werden, muss man auf die Nutzung der Aschen aus Monoverbrennungsanlagen abzielen. Hierzu gibt es verschiedene Optionen, die im Rahmen des Projektes entweder in Zusammenhang mit der Entsorgung von Tiermehl oder der Entsorgung von kommunalen Klärschlämmen diskutiert wurden. Die Zuordnung der Optionen zu den Abfällen erfolgte tendenziell zufällig und wäre austauschbar.

Wie man aus den Berechnungen ersehen kann, ist die direkte Nutzung der Aschen als Düngemittel eine ökologisch sinnvolle Option, sofern die Belange des Bodenschutzes beachtet sind. Die Alternative einer Rücklösung des Phosphors aus der Asche benötigt nach der bisherigen Datenlage hierfür in erheblichem Umfang Betriebsmittel, die das Bilanzierungsergebnis belasten. Werden die Stoffströme Tiermehl und kommunale Klärschlämme aus Gründen des P-Recyclings in Richtung Monoverbrennungsanlagen gelenkt, so sind in erheblichem Umfang neue Verbrennungskapazitäten notwendig, so dass auf eine wesentlich bessere Energieausnutzung geachtet werden kann. Eine optimierte Rückgewinnung von Phosphor sollte nicht zu Lasten anderer Umweltaspekte und hier auch insbesondere des Klimaschutzes gehen.

Die Übersicht über die Biomasseabfallströme sowie die Ermittlung von Optimierungspotenzialen und ihre ökologische Bewertung zeigte an einigen Stellen noch Untersuchungsbedarf:

So gibt es trotz ihres großen Mengenpotenzials und ihrer ökologischen Bedeutung noch keine Konzepte zur Mobilisierung der bislang ungenutzten Biomasseabfälle im Bereich der Pflege von Obst- und Weinbauflächen, von öffentlichen und privaten Grünflächen, Randstreifen von Verkehrsflächen sowie aus der Landschafts- und Biotoppflege. Angesichts der oft ungewissen Zukunft von Landschaftspflegeverträgen und deren Finanzierung, hofft man gerade seitens des Naturschutzes auf (Teil)Finanzierung der Pflege über eine Vergütung als Bioenergieträger. Der Ausarbeitung von Nutzungs- und Logistikkonzepten kommt daher aus Naturschutzsicht eine besondere Bedeutung zu. Außerdem könnte im Rahmen eines Stakeholderprozesses geklärt werden, ob eine extra EEG-Vergütung für Biotoppflegereste gesellschaftlich vertretbar wäre.

Die Untersuchung zeigte, dass es trotz des vergleichsweise kleinen Massenstroms sinnvoll sein kann, das Potenzial an Speisefetten energetisch besser zu nutzen. Hier sollten Erfahrungen in Österreich aufgegriffen und auf ihre Umsetzbarkeit in Deutschland überprüft werden.

Im Bereich der Forstwirtschaft hat die Untersuchung gezeigt, dass teilweise hohe statistische Unsicherheiten zur Höhe der noch ungenutzten Holzpotenziale bestehen. Dies trifft in besonders hohem Maße zu für Waldrestholz und Schwachholz zur energetischen Verwertung in Form von Scheitholz oder Hackschnitzeln.

Es lohnt sich, die Verwertungswege der Biomasseabfälle auf weitere Optimierungspotenziale zu untersuchen. Biomassen haben in aller Regel ein breites Spektrum an wertgebenden Eigenschaften, die über Nutzungskaskaden, d.h. eine Abfolge von (werk)stofflichen und energetischen Nutzungsformen möglichst umfassend genutzt werden sollten. Eine ausschließlich energetische Nutzung wird ihnen meist nicht gerecht. Für Tiermehl und Klärschlamm bspw. gehören hierzu Lösungen, die dem spezifischen Entsorgungsproblem dieser Abfälle gerecht werden, zugleich aber nicht nur das energetische Potenzial sondern auch den Pflanzennährstoff Phosphor möglichst umfassend nutzen.

Die Entwicklung und Mobilisierung von Alternativen zur Nutzung fossiler Rohstoffe ist mit großen Anstrengungen verbunden. Umso bedeutender ist es, Konzepte und Techniken zu erarbeiten, die eine möglichst umfassende Nutzung der bei Biogasanlagen und Verbrennungsanlagen anfallenden Energie sicher zu stellen. Eine reine Verstromung kann nicht befriedigen. Hier sollten Konzepte wie bspw. eine Aufarbeitung von Biogas zu Erdgasqualität und dessen entsprechende Vermarktung sowie eine umfassende Nutzung von Überschusswärme weiter entwickelt werden.

Wie die Untersuchungen auch zeigten, ist eine aus energetischer Sicht optimierte Nutzung von Biomassen unter anderen Umweltaspekten nicht immer unproblematisch. Ein Beispiel hierfür ist die PM10-Problematik der Nutzung von Holzpellets. Hier müssen Umsetzungskonzepte entwickelt werden mit dem Ziel, die fortgeschrittensten Verbrennungstechnologien für eine staubarme Verbrennung in Neuanlagen soweit als möglich einzusetzen bzw. Altanlagen entsprechend nachzurüsten oder zu ersetzen. Darüber hinaus ist die Brennstoffaufbereitung so zu optimieren, dass möglichst wenig Staub freigesetzt wird.

10 Literatur

- (Amon et al. 2002), Emissionen von NH_3 , N_2O und CH_4 nach der Ausbringung von Rinderflüssigmist und Einfluss der Flüssigmistbehandlung, in KTBL-Schrift 406. Darmstadt
- (ATV 1998), Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 3.11.6 „Rückstände aus Abscheideranlagen für Fette“, in: Korrespondenz Abwasser 1998, Nr. 5, S. 971-988
- (BAFA 2005), Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Liste „Förderbare - automatisch beschickte - Biomasseanlagen“, Stand 23.12.2005; http://www.bafa.de/1/de/download/pdf/publikationen/energie_ee_publikationen_biomasse_ab_a.pdf
- (Bannick 2002), C. G. Bannick: Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden. In: KTBL Schrift 404 (Seiten 17-28), Reinheim
- (Bayer LfU 2003), Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen, Augsburg 2003
- (Berschmidt, 2003) A. Bergschmitt, Entwicklung und Erprobung von Erhebungsmethoden. zum Wirtschaftsdüngermanagement. in landwirtschaftlichen Betrieben. Projektbericht für Eurostat. Bundesanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig.
- (BFH 2001), Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft: Abschätzung des Rohholzpotentials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland; M. Dieter; H. Englert (Hrsg.). Hamburg 2001
- (BGK 2006), Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Vermarktungswege von Kompost in Deutschland, http://www.bgkev.de/news/news.htm?newsid=06_1_021
- (Bihl 2004) C. Bihl, Erschließung und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe als Puffersubstanzen im Bodenschutz im Wald, Dissertation an der Universität Trier im Fachbereich VI, November 2004
- (BMELF 2000), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Nationales Waldprogramm Deutschland – Ein gesellschaftspolitischer Dialog zur Förderung nachhaltiger Waldbewirtschaftung im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung 1999/2000, Bonn
- (BMU 2006), Internetseite siehe unter: http://www.jahreskonferenz.de/Downloads/AGee_erneuerbare_entwicklung_2005.pdf
- (BMU/BMWi 2006), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Energieversorgung für Deutschland. Statusbericht für den Energiegipfel am 3. April 2006. Berlin, März 2006
- (BMELV 2001), BMELV (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup
- (BMVEL 2003), Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hg.): Holzmarktbericht 2/2003;
- (BMVEL 2004) Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland, 2004
- (BMVEL 2005), Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft: Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung, 2005

- (BMVEL 2005b), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Künast: Erfolgreiche Förderung von Naturdämmstoffen wird fortgesetzt; Pressemitteilung Nr. 46 vom 22.2.2005
- (Brunner 2005), M. Brunner, Abfallvermeidung und Grüngutverwertung bei der Grünflächenpflege der Landeshauptstadt München, in: Bayer. LfU, Abfallvermeidung und –verwertung bei der Landschafts- und Gartenpflege, Augsburg Oktober 2002, S. 63-66
- (Buchert et al. 1999), Buchert et al.: Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung; Texte 47/99, Umweltbundesamt, 1999
- (BUWAL 2005), BUWAL, Forstdirektion; Bundesamt für Statistik: Erläuterungen zu den Fragebogen der neuen Forststatistik 2004, <http://www.forst-stat.ch>, 2005
- (BWI 2002), Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft: Bundeswaldinventur; (Stichjahr 2002), <http://www.bundeswaldinventur.de>
- (CML 1992), Heijungs, R. et al., Backgrounds – Environmental Life Cycle Assessments of Products, Rotterdam 1992
- (Daxbeck et al. 2003), H. Daxbeck, M. Reisenberger, E. Kampel, Güterhaushalt Österreich: Abfallwirtschaft als teil des Ressourcenmanagements – Welches sind die wichtigsten Güter- und Abfallflüsse? Projekt ABASG II Güter, Ressourcenmanagement Agentur RMA, im Auftrag des BMLFUW, Wien 2003
- (Dettmer 2005), T. Dettmer, R. Bock, C. Herrmann, Bioschmierstoffe aus Abfall(Fetten), in: K. Fricke et al. (Hg), Von der Entsorgungswirtschaft zur Ressourcenwirtschaft, Braunschweig 2005, S. 457-467
- (Dichtl 2005), N. Dichtl, Abfallstoffe und Ressourcenschutz – mit besonderer Betrachtung der Ressource Phosphor, in: K. Fricke et al. (Hg), Von der Entsorgungswirtschaft zur Ressourcenwirtschaft, Braunschweig 2005, S. 501-515
- (DLG 1991), Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft, DLG-Futterwerttabellen – Schweine, 6. Auflage, Frankfurt/M 1991
- (DLR/ifeu/WI, 2004), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Energie- und Umweltforschung und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie. Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Berlin
- (Döhler et al. 2001), H. Döhler, B. Eurich-Menden, et al. (2001), BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungs-szenarien bis zum Jahre 2010, Berlin
- (DüMV), Düngemittelverordnung. Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln in der Fassung vom 26.11.2003, download unter http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_mv/gesamt.pdf
- (EEA 2002), European Environmental Agency, Environmental signals 2002. Environmental Assessment Report No. 9. Kopenhagen 2002
- (Eberhard et al. 2002), Eberhard, W.; Scheffknecht, C.; Scherer, J.: Verwertungsmöglichkeiten aus Biomasseheizwerken zu Düngezwecken; Kurzbericht UI/Vle-1/2002; Vorarlberg
- (Ecoinvent 2005), Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Database v1.2, 2005
- (EdDE 2005), Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V., Brennstoffgewinnung aus Kompostrohstoffen?, Aachen März 2005 (= EdDE-Dokumentation 8)

- (EEG 2004), Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich, 21. Juli 2004, Bundesgesetzblatt 2004, Teil I Nr. 40
- (EMPA 2002), Emissionen und Stoffflüsse von Restholzfeuerungen, Bericht Nr. 880'002/1
- (Endreß 2000), Dr. H.-U. Endreß, gehobene Qualität durch Produkt-Integrierten-Umweltschutz – PIUS, in: Fruit-Processing, Heft 7/2000
- (Enervis 2005), Gasmelder spezial, Ausgabe Juli 2005; Newsletter von enervis energy advisors und BET Büro für Energiewirtschaft
- (ETH 1996), Gruppe Energie – Stoffe – Umwelt der ETH Zürich: Ökoinventare für Energiesysteme, Hrsg. Bundesamt für Energiewirtschaft, 3. Aufl., 1996
- (EU 2002), Richtlinie 200/91 EG des europäischen Parlaments und des Rats vom 16.12.2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, 4.1.2003
- (EUWID 2006), Europäischer Wirtschaftsdienst. Recycling und Entsorgung Nr.20/2006, S. 11
- (Eurich-Menden 2006), B. Eurich-Menden (KTBL), Mündliche Mitteilung vom 16.05.2006
- (EWI/Prognos 2005) EWI/Prognos - Studie: Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. BMWi Dokumentation Nr. 545. download unter <http://www.bmw.de/BMWi/Navigation/energie,did=65014.htm>
- (Fachverband Biogas 2006), Fachverband Biogas, mdl. Mitteilung 20.02.2006
- (Fachverband Textil-Recycling 2005), www.fachverband-textil-recycling.de/article/articleview/97/1/15 Stand 12.2005
- (Flachowsky 1996), G. Flachowsky, Nebenprodukte aus der Lebensmittelverarbeitung und dem Non-Food-Bereich. Anfallende Mengen und deren Charakterisierung aus der Sicht der Tierernährung, in: Wissenschaftliche Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig FAL (Hg), Workshop unkonventionelle Futtermittel April 1996, S. 79-90 (=FAL-Sonderheft 169)
- (Fischer 2005), J. Fischer, Marktentwicklung von Holzpellets und Pelletheizungen, Deutscher Energie Pellet-Verband e.V., Oktober 2005
- (Fischer 1997), P. Fischer, H.-J. Schmitz, M. Jauch, Verwertung fester Rückstände aus der Vergärung von Bioabfällen, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben des Instituts für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Staatliche Versuchsanstalt für Gartenbau der FH Weihenstephan, 1997
- (FNR 2003), Fachverband nachwachsende Rohstoffe, Basisdaten Biogas (Faltblatt) unter www.fnr.de
- (FNR 2004), Fachverband nachwachsende Rohstoffe, Handreichung Biogasgewinnung und Nutzung. Endbericht für das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (FKZ 22027200). Leipzig
- (FNR 2005), Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V., Biogas – eine Einführung, Gülzow Januar 2005
- (FNR 2005), Fachverband nachwachsende Rohstoffe, Leitfaden Bioenergie – Datensammlung, download unter: http://www.fnr-server.de/pdf/literatur/pdf_191datensammlung_klein.pdf
- (FNR 2006), Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, www.nachwachsende-rohstoffe.de; 2006

- (Fox 1991), G. F. Fox, Aufwand und Nutzen der Apfeltresterverwertung aus Sicht der Abfallbeseitigung, der Viehfütterung und der Pektingewinnung, in: Flüssiges Obst, Heft 9/1991, S. 492-499
- (FSC 2001), Forest Stewardship Council: Deutscher FSC-Standard vom 28. November 2001; FSC Arbeitsgruppe Deutschland e.V., Freiburg 2001
- (Gabsdil 2003) A. Gabsdil, Aufkommen und Verwertung von Rinde, Diplomarbeit an der Universität Hamburg, 2003
- (GDI 2005), Gesamtverband Dämmstoffindustrie GDI: GDI-Baumarktstatistik 1999-2004
- (GEMIS 2005), Gesamtemissionsmodell Integrierter Systeme. GEMIS Version 4.3, 2005. Öko-Institut e.V., Darmstadt. download unter www.gemis.de
- (GOA 1998), GOA Gesellschaft des Ostalbkreises für Abfallwirtschaft mbH, Die Bioabfallbehandlungsanlagen im Ostalbkreis, Mögglingen 1998
- (Grundmann 2005), T. Grundmann, Stand der MBA-Technologie in Deutschland, in: K. Fricke et al. (Hg), Von der Entsorgungswirtschaft zur Ressourcenwirtschaft, Braunschweig 2005, S. 129-135
- (HLfU 1995), Hessische Landesanstalt für Umwelt, Bericht zur Entsorgung von Fettabscheiderinhalten in Hessen. Situation und Handlungsbedarf, Wiesbaden 1995 (=Schriftenreihe Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft 187)
- (Holzenergie Schweiz), Aschenentsorgung umweltfreundlich und ökologisch; Information der Holzenergie Schweiz, http://www.holzenergie.ch/uploads/tx_userpublicationshop/121aschenentsorgungD_01.pdf
- (Heldstab et al. 2002), J. Heldstab et al., Modelling of PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland 2000 and 2010. Environmental Documentation No.169, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape SAEFL, Bern 2003
- (IE 2003a), Institut für Energetik und Umwelt, Biogasgewinnung aus Gülle, organischen Abfällen und angebauter Biomasse – eine technische, ökologische und ökonomische Analyse. Endbericht für die DBU (Förderkennzeichen 15071). Leipzig
- (IE 2003b), Institut für Energetik und Umwelt, Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energie-Gesetzes (EEG), Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 201 41 132 des Umweltbundesamtes Berlin, Dezember 2003
- (IE 2004), D. Merten, D. Falkenberg, M. Nill, M. Kaltschmitt, Wärmegewinnung aus Biomasse, Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, Leipzig April 2004
- (IE 2005a), Institut für Energetik und Umwelt, Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. 1. Zwischenbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Leipzig
- (IE 2005b), Institut für Energetik und Umwelt, Evaluierung der Möglichkeiten zur Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz. Endbericht für die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Projektnummer 323 2002)
- (IE 2006), Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. 2. Zwischenbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Leipzig

- (ifeu 1999), Statusbericht der Siedlungsabfallwirtschaft in Nordrhein-Westfalen, Studie im Auftrag des MURL NRW, Heidelberg 1999
- (ifeu 2001), Institut für Energie- und Umweltschutz Heidelberg gGmbH, Abfälle aus Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen. Bestandsaufnahme der Abfallströme der Kläranlagenabfälle in NRW 1998. Ökobilanz der Entsorgungsverfahren für Kläranlagenabfälle in NRW. Umweltrelevanz der Klärschlamm Entsorgung in NRW, Düsseldorf 2001
- (ifeu 2001), Institut für Energie- und Umweltschutz Heidelberg gGmbH, Co-Fermentation von biogenen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen, Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen MUNLV, Heidelberg 2001 (= Bericht zur Umwelt, Bereich Abwasser, Band 22)
- (ifeu 2003), Institut für Energie- und Umweltschutz Heidelberg gGmbH, Stoffflussanalyse für eine geplante Mitverbrennung von Papierschlamm in den Blöcken P und Q des Kraftwerks Frimmersdorf, im Auftrag der RWE AG, Heidelberg 2003
- (ifeu 2005), Institut für Energie- und Umweltschutz Heidelberg gGmbH, Analyse und vergleichende Bewertung (Ökobilanz) der Verwertungsmöglichkeiten von Bioabfällen, im Auftrag der Stadt Wien, Heidelberg 2005
- (igw/ifeu 2003), Ingenieurgesellschaft Witzenhausen / ifeu-Institut Heidelberg gGmbH, Ökologische Bewertung der unterschiedlichen Optionen zur Verwertung von Altspeiseölen und -fetten in Vorarlberg, im Auftrag des Umweltverbandes Vorarlberger Gemeindehaus, Witzenhausen/Heidelberg 2003
- (IPCC 2004), Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2004; im Internet unter: <http://ipcc.ch/pub/SYR-text.pdf>
- (Isover 2005), Graphik Dämmstoffmarkt BAU in der BRD; Quelle GDI; veröffentlicht in KWD Nr. 1238/17.6.2005
- (Jäger 1997), Jäger, Dr. F., Erwartungen der Politik an die Speiseabfallverwertung, in: BNS Bundesverband der Nahrungsmittel- und Speiseresteverwerter e.V., Workshop „Futtermittel aus Nahrungsmittel- und Speiseresten – Tradition und Zukunft“, Bochum 1997, S. 4-9
- (Kaltschmitt 2003), M. Kaltschmitt und D. Thrän: Biomasse für Strom, Wärme und Kraftstoff. Was kann die Land- und Forstwirtschaft bereitstellen? in: ufop Jahresbericht 2003
- (Kaltschmitt 2004) M. Kaltschmitt, Status-Quo und Potenziale der energetischen Biomassenutzung in Deutschland – Wozu sollen welche Biomassepotenziale genutzt werden, Strom, Wärme, Kraftstoffe?, Vortrag, in: Tagungsband des Perspektivforums des BBE und FNR „Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz? Eine Standortbestimmung“, Berlin, 10. Februar 2004
- (Kern 2001), M. Kern, W. Sprick: Abschätzung des Potenzials an regenerativen Energieträgern im Restmüll. In: Bio- und Restabfallbehandlung V. Wiemer/Kern (Hrsg.). Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis. Witzenhausen 2001
- (Kern Raussen 2005), M. Kern, T. Raussen, Chancen für die Verwertung biogener Abfälle nach EEG und TEHG, in: Müll und Abfall 2/2005, S. 66- 72
- (Keymer 2004), U. Keymer, Betriebswirtschaftliche Analyse des Einsatzes verschiedener nachwachsender Rohstoffe. In: Biogas Nachwachsende Rohstoffe – Neue Wege für die Landwirtschaft. Tagungsband zur 14. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas, 11. bis 14. Januar 2004. Freising

- (Kley 2005), G. Kley, C. Adam, R. Brenneis, F.-G. Simon, Thermochemische Aufbereitung von Klärschlammaschen zu Phosphordüngern. Das EU-Projekt SUSAN, in: WAR/Umweltbundesamt (Hg), Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser und Klärschlamm. Konzepte – Verfahren – Entwicklungen, Darmstadt 2005, S. 265-282 (= WAR-Schriftenreihe Nr. 167)
- (Klöpffer 1995), Methodik der Wirkungsbilanz im Rahmen von Produktökobilanzen unter Berücksichtigung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umweltkategorien, Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 23/95
- (Köppen 2006), Geschäftsführer Fachgruppe Obstbau im Bundesausschuss Obst und Gemüse, mündliche Mitteilung 13.03.2006
- (Körschens, M. et al. 2005) M. Körschen, J. Rogasik, E. Schulz, Bilanzierung und Richtwerte organischer Bodensubstanz. Landbauforschung Völkenrode 55(05)1. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig. Download unter <http://www.pb.fal.de/en/library/publications/pb-1900/pb1847.pdf>
- (KTBL 1999), Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und Verwertung (Kapitel D). KTBL-Arbeitspapier 272. Darmstadt
- (KTBL 2002), Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Obstbau. Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulationsdaten, Darmstadt 2002
- (KTBL 2005) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., KTBL-Arbeitsgruppe Biogaserträge, Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Darmstadt 2005
- (Landesforst 2004), Niedersächsische Landesforstverwaltung: Jahresbericht der niedersächsischen Landesforstverwaltung 2004
- (Lang 1998), Dr. H.-P. Lang, EUROPORC Limited GmbH Mellrichstadt, Erfassung und Verwertung von Speiseabfällen, Vortragsskript zur Veranstaltung „Speise- und Nahrungsmittelabfälle. Ein Markt mit Perspektive“, veranstaltet von MTE am 18.02.1998 in Oberhausen
- (Leible et al. 2003), L. Leible, A. Arlt, B. Fürniß, S. Kälber, G. Kappler, S. Lange, E. Nieke, Ch. Rösch, D. Wintzer, Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Bereitstellung und energetische Nutzung organischer Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte als Einkommensalternative für die Land- und Forstwirtschaft - Möglichkeiten, Chancen und Ziele. Karlsruhe: Wissenschaftlicher Bericht des Forschungszentrums Karlsruhe 2003. Download unter <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2003/leua03a.pdf>
- (LfU Bayern 2003), Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen, Augsburg 2003
- (LfU Bayern 2004), Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Biogashandbuch Bayern. Download unter www.bayern.de/lfu/biogashandbuch
- (LUA 2005), Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Klärschlamm_2004_.pdf
- (LWF 2004), G. Neugebauer, S. Wittkopf, C. Baudisch, F. Günsche, Hackschnitzel auf dem Vormarsch – Umfrage bei den bayerischen Biomasseheizwerken; Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF aktuell 48/2004
- (Mandl et al. 2001), M. Mandl, P. Kautsch, H. Hengsberger, A. Stuhlbacher, M. Koinigg, Grundlegende bauphysikalische und werkstofftechnischer Untersuchungen zu aufgespritzten Zellulosedämmschichten mit Putzaufgabe für Außenfassaden, Joanneum Research, TU Graz, April 2001
- (Mantau 2004), U. Mantau, Holzrohstoffbilanz Deutschland Bestandsaufnahme 2002, Dezember 2004

- (Mantau et al. 2002), U. Mantau, H. Weimar, R. Wierling, Standorte der Holzwirtschaft, Abschlussbericht, Universität Hamburg, im Auftrag von Holzabsatzfonds und Verband Deutscher Papierfabriken, Januar 2002
- (Mantau et al. 2004), U. Mantau, H. Weimar, C. Sörgel, Holzrohstoffbilanz Deutschland – Bestandsaufnahme 2002, Vortrag an der Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, am 17.12.2004
- (Mantau Bilitewski 2005), U. Mantau, B. Bilitewski, Stoffstrom-Modell-HOLZ, Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten, Abschlussbericht im Auftrag des VDP, März 2005
- (Mantau Weimar 2006) U. Mantau, H. Weimar, Standorte der Holzwirtschaft, Abschlussbericht – Einsatz von Holz in Biomasse- und Holzfeuerungsanlagen, Abschlussbericht, Universität Hamburg, im Auftrag von Holzabsatzfonds und Verband Deutscher Papierfabriken, März 2006
- (Marutzky 2004), R. Marutzky, Biomassen auf Basis von Holz und Brennstoffe in Österreich, der Schweiz und Deutschland, überarbeitetes Referat zum VDI-Seminar „Energetische Biomasseverwertung – Neue Konzepte für den kommunalen und gewerblichen Bereich“, Salzburg Januar 2004
- (Marutzky 2004), R. Marutzky, Biomassen auf Basis von Holz und Brennstoffe in Österreich, der Schweiz und Deutschland, überarbeitetes Referat zum VDI-Seminar „Energetische Biomasseverwertung – Neue Konzepte für den kommunalen und gewerblichen Bereich“, Salzburg Januar 2004
- (MTE 1997), Informationsbüro Kreislaufwirtschaft c/o MTE Umweltberatung GmbH, Der Markt für Sekundärrohstoffe, Teil 7: Nahrungsmittelabfälle, Oberhausen 1997
- (MTE 1998), Informationsbüro Kreislaufwirtschaft c/o MTE Umweltberatung GmbH, Der Markt für Sekundärrohstoffe, Teil 8: Bioabfälle, Oberhausen 1998
- (Müller 2005), J. Müller, Umsetzung des SEABORNE Verfahrens auf der Kläranlage Gifhorn, in WAR/Umweltbundesamt (Hg), Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser und Klärschlamm. Konzepte – Verfahren – Entwicklungen, Darmstadt 2005, S. 233-238 (= WAR-Schriftenreihe Nr. 167)
- (MUNLV 2004), Universität Dortmund/DPU Essen, UMSICHT Oberhausen, u.a., Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen, Düsseldorf 2004
- (MUNLV 2005), <http://www.munlv.nrw.de/sites/arbeitsbereiche/entsorgungsatlas/>
- (MUNLV 2005), ifeu-Institut Heidelberg/INFA Ahlen/FIW Aachen, Ökologische und ökonomische Bewertung von Sammelsystemen für Haushaltsabfälle in Nordrhein-Westfalen, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, Düsseldorf 2005
- (nlfb 2005) E. Schmatzler, Substitution Torf, unter: http://www.nlfb.de/index.htm?/rohstoffe/anwendungsgebiete/moor_torf2.htm
- (Nottrodt 2001), A. Nottrodt GmbH, Technische Anforderungen und allgemeine Empfehlungen für die Entsorgung von Tiermehl und Tierfett in Verbrennungsanlagen, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Hamburg 2001
- (Oechsner 1998), H. Oechsner, A. Gosch, Vergärbare Stoffe, in: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt 1998 (KTBL-Arbeitspapier 249)
- (Öko-Institut 2004), Öko-Institut; UMSICHT, ife; ifeu; izes, Institut für Geoökologie der Uni Braunschweig; Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus der TU München: Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU, Freiburg Dezember 2004

- (Öko-Institut 2005), Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.3
- (ÖKOPOL 1998), Ökopol/FSÖ, Stoffstrom-Management-Konzept für nativ organische Rückstände – Chancen und Perspektiven für Schleswig-Holstein, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein, Hamburg/Kiel 1998
- (PEFC 2000), Pan-European Forest Certification: Kriterien, Empfehlungen und Indikatoren für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung auf regionaler Ebene (Indikatorenliste in Deutschland, 2000, <http://www.pefc.de/system/indikatoren.htm>)
- (PEFC 2003) Pan-European Forest Certification: Persönliches Gespräch am 12.08.2003
- (Pehnt 2006), M. Pehnt, Stäbchen voller Energie, Holzpellets heizen preiswert, in: Frankfurter Rundschau, S. 24, 31.1.2006
- (Pinnekamp 2005), J. Pinnekamp/ D. Montag, Phosphorrückgewinnung aus Überschussschlamm, in: WAR/Umweltbundesamt (Hg), Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser und Klärschlamm. Konzepte – Verfahren – Entwicklungen, Darmstadt 2005, S. 155-166 (= WAR-Schriftenreihe Nr. 167)
- (Reifenstuhl 2005), R. Reifenstuhl, Abfälle aus kommunalen Kläranlagen - Ergebnisse der DWA Klärschlammhebung 2003, in: K. Fricke et al. (Hg), Von der Entsorgungswirtschaft zur Ressourcenwirtschaft, Braunschweig 2005, S. 495-499
- (Ressel 1986), J. Ressel, Energieanalyse der Holzindustrie der Bundesrepublik Deutschland, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Forschungsbericht T 86-184 des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Dezember 1986
- (Roschke 2004), M. Roschke, Anfall, Zusammensetzung und Verwertung von Gärückständen, Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Güterfelde
- (Schaum 2005), C. Schaum, Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser – mehr als eine politische Diskussion?, in: WAR/UBA (Hg), Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser und Klärschlamm. Konzepte – Verfahren – Entwicklungen, Darmstadt 2005 (=WAR-Schriftenreihe 167)
- (Schmelz 1997), K. G. Schmelz, Erfahrungen bei der Co-Vergärung von Bioabfällen und Klärschlamm, in: Gallenkemper/Bidlingmaier/Doedens/Stegmann (Hg), 5. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, Münster 1997, S. 326-332
- (Schückes 2006), M. Schückes, Klärschlamm in der Energieversorgung, in: MUNLV (Hg), Klärschlamm Entsorgung: Eine Bestandsaufnahme, Düsseldorf 2006, S. 398-402
- (Schwab 2004), download unter:
<http://www.ktbl.de/duengung/wirtschaftsduenger.htm>
- (Schwager 2006), S. Schwager, Maßnahmen zur Reduzierung der Schadstoffe im Klärschlamm, in: MUNLV (Hg), Klärschlamm Entsorgung: Eine Bestandsaufnahme, Düsseldorf 2006, S. 352-356
- (Simon 2005) S. Simon, K. Wiegmann, A. Heißenhuber, Nachhaltige Energetische Nutzung von Biomasse - dynamische Ermittlung von Biomassepotenzialen in der Landwirtschaft zur Generierung von Szenarien, Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Bd. 40, S. 351-360

- (Simon 2006), S. Simon, Modellierung nachhaltiger Bioenergiepotenziale aus der Landwirtschaft für Deutschland, Polen, Tschechien und Ungarn Dissertationsschrift, TU München (in Druck)
- (Statistisches Bundesamt 2005a), Statistisches Bundesamt: Mastschweine nach Stallhaltungsverfahren und Bestandsgrößenklassen. Repräsentative vom November Erhebung 2004, Reihe 93, Wiesbaden
- (Statistisches Bundesamt 2005b), Statistisches Bundesamt: Milchkühe nach Stallhaltungsverfahren und Bestandsgrößenklassen. Repräsentative vom November Erhebung 2004, Reihe 91, Wiesbaden
- (Statistisches Bundesamt 2005), Umweltstatistische Erhebung www.destatis.de/basis/d/umw/umwtab1.php
- (Stelter 2003), W. Stelter, Markteinführungsprogramm „Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen“, Präsentation der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2003
- (STN 2005), Servicegesellschaft Tierische Nebenprodukte mbH, www.stn-vvtn.de/fakten_zahlen.php
- (SÜPRO 2006), Auskunft durch Hr. Bensch, Fa. SÜPRO Lampertheim
- (TASi 1993) Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz - Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall) vom 14. Mai 1993 (BAnz-Anlage Nr. 99a)
- (Thome-Kozmiensky 2005), K. J. Thome-Kozmiensky, Thermische Verfahren zur Restabfallbehandlung, - Perspektiven und Visionen, in: K. Fricke et al. (Hg), Von der Entsorgungswirtschaft zur Ressourcenwirtschaft, Braunschweig 2005, S. 89-127
- (Thrän 2002), D. Thrän und M. Kaltschmitt: Stroh als biogener Festbrennstoff in Europa. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 52 (2002) Nr.9, S.596-601
- (UBA 1995), Umweltbundesamt, Ökobilanz für Getränkeverpackungen. Teil A: Methode zur Berechnung und Bewertung von Ökobilanzen für Verpackungen, Teil B: Vergleichende Untersuchung der durch Verpackungssysteme für Frischmilch und Bier hervorgerufenen Umweltbeeinflussungen, Berlin 1995, UBA-Texte 52/95
- (UBA 2000), ifeu-Institut Heidelberg, Ökobilanzen für graphische Papiere, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (= UBA-Texte 22/00), Materialienband I - Datengrundlage
- (UBA 2002), Umweltbundesamt: Umweltdaten Deutschland online, Stand 31.12.2002
- (UBA 2004), Umweltbundesamt, T. Hermann, K. Goldau, Daten zur Anlagentechnik und zu den Standorten der thermischen Klärschlamm Entsorgung in Deutschland, 3. überarbeitete Auflage, Berlin 2004
- (UBA 2006), Umweltbundesamt: Luftemissionen für Gesamtdeutschland, veröffentlicht im Internet im März 2006
- (URSA 2005), Firma URSA: URSA richtet Dämmstoffkapazitäten neu aus, Pressemitteilung vom 7.9.2005, Wesel/Leipzig
- (UVM 2004), Ministerium für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg, Abfallbilanz 2003, Stuttgart 2004
- (vdf 2006), Telephonauskunft durch Hr. Grafe, Vertriebsgemeinschaft Deutscher Fleischmehlfabriken e.V., Hamburg
- (vdp 2003), Verband Deutscher Papierfabriken: Papier 2003 – ein Leistungsbericht
- (vdp 2004), Verband der Deutschen Papierfabriken e.V., Leistungsbericht, Bonn 2004

- (vdz 2005), Verband Deutscher Zeitungsverleger (vdz): AGRAPA-Verwertungsnachweis für 2003, <http://www.vdz.de/pages/article/1885.aspx>
- (VHI 2002), Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrien e.V.: Erfahrungsbericht zur Biomasse. VHI-Stellungnahme zum EEG-Erfahrungsbericht; Dr. Udo Leukens und Hans Grabowski, Gießen, 2003
- (Videncenter 1999), Center für Biomasse-Technologie: Holz als Energieträger. Im Auftrag der dänischen Energiebehörde; 1999
- (Vogt et al. 2002), R. Vogt et al., Ökobilanz Bioabfallverwertung. Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit von Systemen zur Verwertung von biologisch-organischen Abfällen, Berlin 2002 (= DBU-Schriftenreihe Initiativen zum Umweltschutz, Bd. 52)
- (Weiland 2002), P. Weiland, Möglichkeiten der Nährstoffabtrennung aus Flüssigmist – Techniken und Wirtschaftlichkeit. In: KTBL-Schriften 404. Darmstadt
- (Wendenburg, 2006), H. Wendenburg, Zukunft der Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland, in: MUNLV (Hg), Klärschlamm Entsorgung: Eine Bestandsaufnahme, Düsseldorf 2006, S. 339
- (WHO 2002), World Health Organization Regional Office for Europe, European Center for Environment and Health, Environmental health indicator systems -- update of methodology sheets, Bonn 2002
- (WI 2006), Wuppertal Institut et al., Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse (Band 1 – Endbericht). Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW. Wuppertal
- (Wiegmann et al. 2005), K. Wiegmann, Umweltauswirkungen von Ernährung – Stoffstromanalysen und Szenarien. Diskussionspapier Nr. 7 im Rahmen des bmbf-Projekts „Ernährungs-wende“. Download unter http://www.ernaehrungswende.de/pdf/DP7_Szenarien_2005_final.pdf
- (Wieland et al. 2000), H. Wieland, D. Murphy, H. Behring, C. Jäger, P. Hinrichs, F. Bockisch, Perspektiven für Dämmstoffe aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen, Landtechnik 1/2000 (Februar), S. 22-23
- (Wiemer, Kern 1998), K. Wiemer, M. Kern, Kompostatlas 1998/99, Anlagenhandbuch: Kompostierung, Anaerobtechnik, Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung und Aggregate. Neues aus Forschung und Praxis, Studie des Witzenhausen-Instituts in Zusammenarbeit mit der Bundesvereinigung Humus- und Erdenwirtschaft e.V., Witzenhausen/Köln 1998
- (WSL 2000), Holzasche aus Energiefeuerungen: Recycling oder Dumping) Informationsblatt Forschungsbereich Landschaft Nr. 46/2000, Eidg. Forschungsanstalt WSL
- (ZMP 2005), Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Agrarmärkte in Zahlen – Ausgabe Deutschland, Bonn 2005
- (Zöttl 1994), H.-W. Zöttl, Rindenmulch und Rindenhumus, in: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit Band 6, Recycling kommunaler und industrieller Abfälle in der Landwirtschaft, Münster 1994, S. 57-65

ANHANG

Inhaltsverzeichnis zum Anhang

		Seite
1	Fließschemen zur Forst-, Holz und Papierwirtschaft	A-1
2	Dokumentation zur Forst-, Holz und Papierwirtschaft	A-6
2.1	Umrechnungsfaktoren	A-6
2.2	C-, N- und P-Gehalte	A-6
2.3	Dokumentation der einzelnen Stoffströme	A-7
3	Fließschemen Landwirtschaft	A-11
4	Anhang Güllenutzung	A-17
4.1	Heutige Biogasgewinnung aus Gülle	A-17
4.2	Biogaspotenzial und dessen Mobilisierung bis 2020	A-19
4.3	Beschreibung der Prozesskette Güllevergärung und Biogasnutzung	A-20

1 Fließschemen zur Forst-, Holz und Papierwirtschaft

Auf den nächsten Seiten befinden sich die Fließschemen für die folgenden Stoffströme in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft in 2002:

1. Trockenmassen
2. C-Ströme
3. N-Ströme
4. P-Ströme

Abbildung A-1: Abschätzung der Massenströme in der Forstwirtschaft, der Holzindustrie und der Papierindustrie in 2002: Trockenmassen

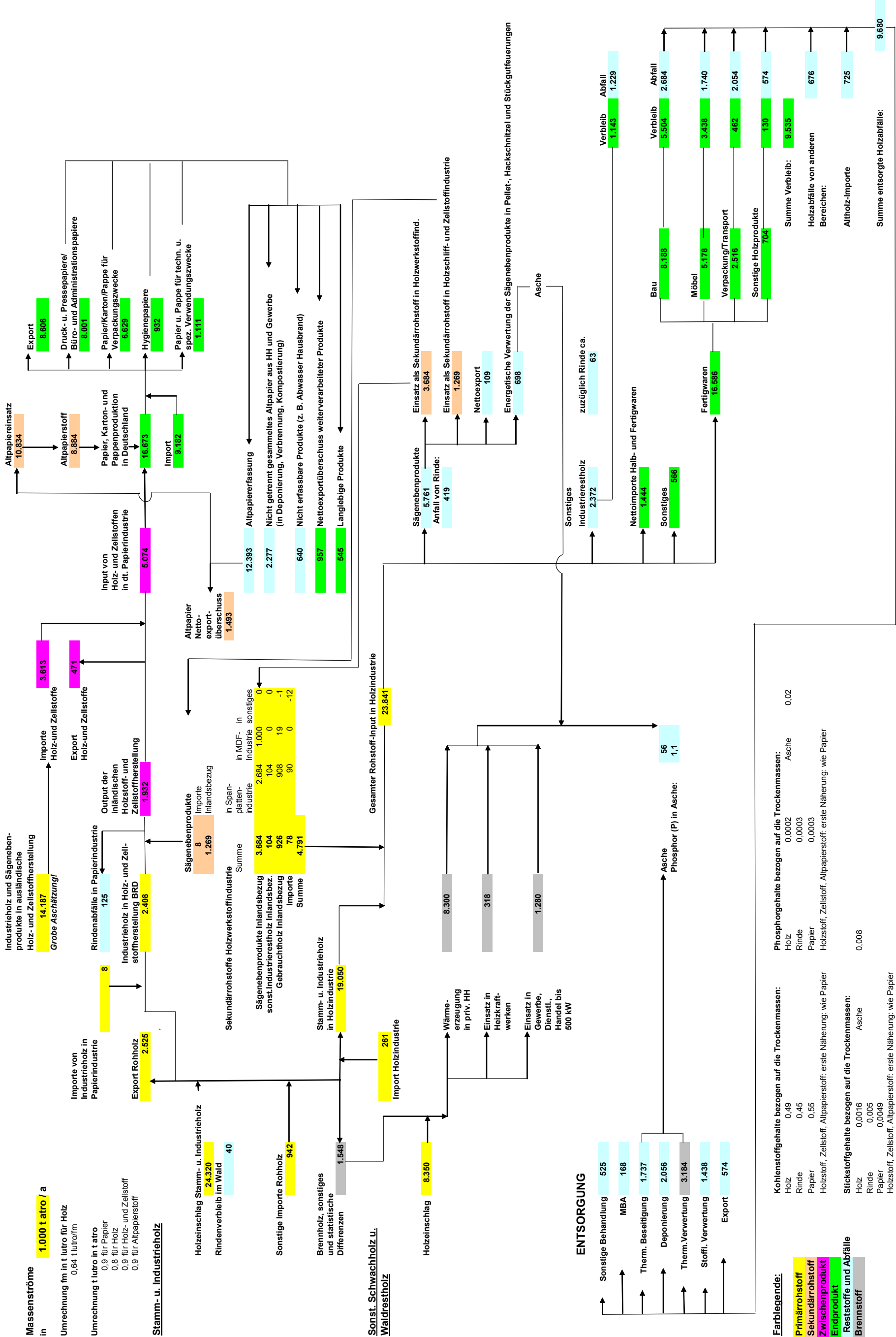


Abbildung A-2: Abschätzung der Massenströme in der Forstwirtschaft, der Holzindustrie und der Papierindustrie in 2002: C-Ströme

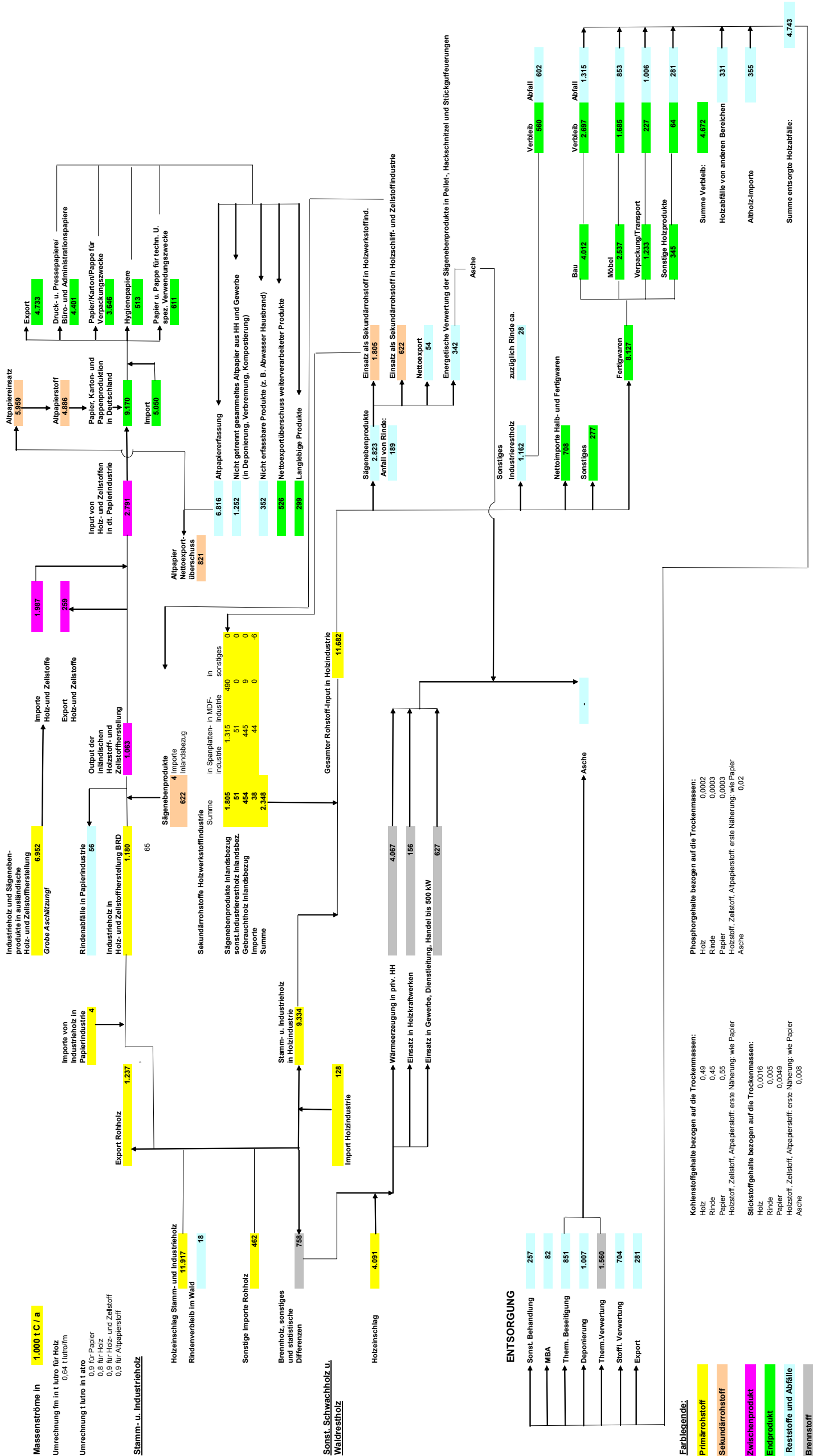


Abbildung A-3: Abschätzung der Massenströme in der Forstwirtschaft, der Holzindustrie und der Papierindustrie in 2002: N-Ströme

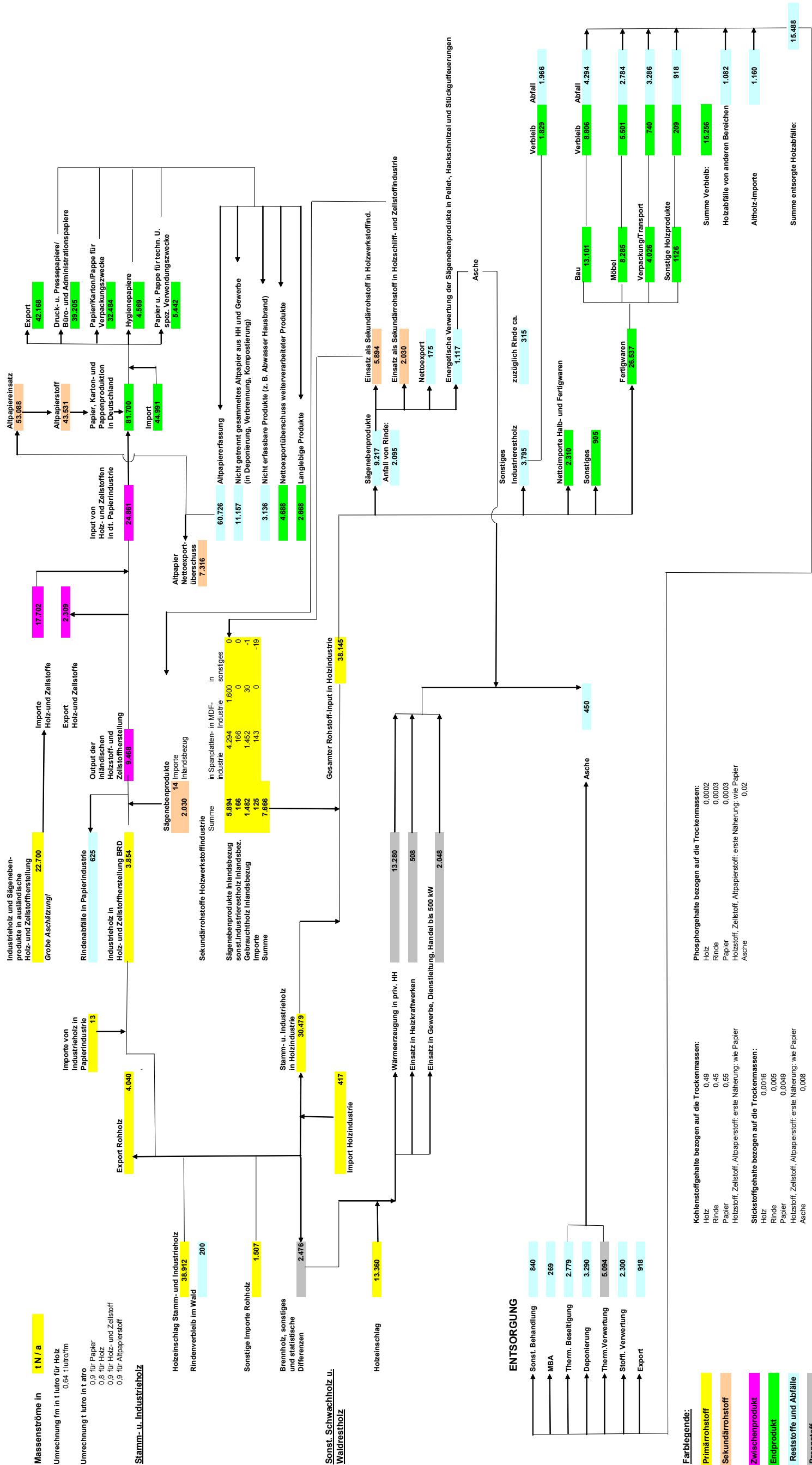
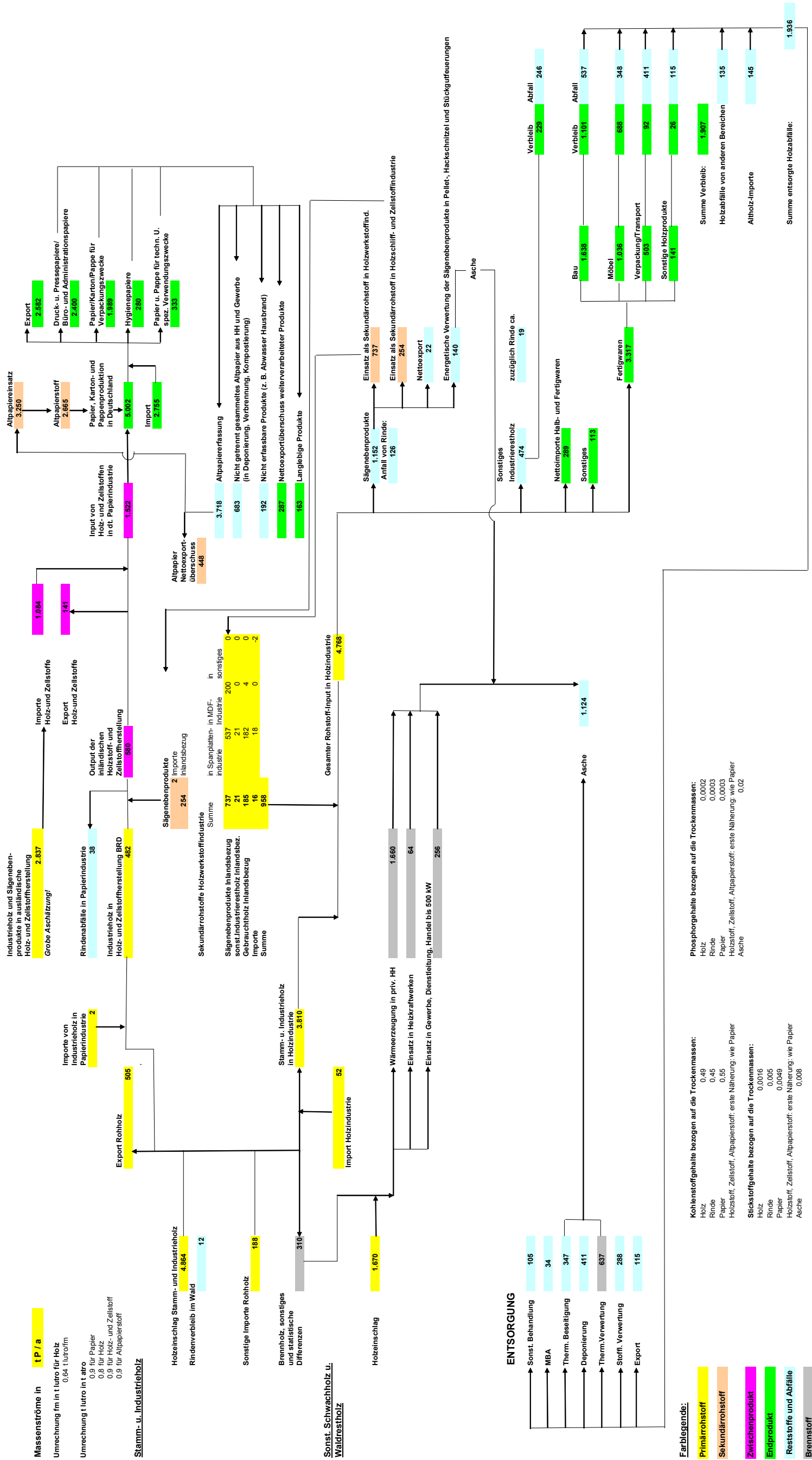


Abbildung A-4: Abschätzung der Massenströme in der Forstwirtschaft, der Holzindustrie und der Papierindustrie in 2002: P-Ströme



2 Dokumentation zur Forst-, Holz und Papierwirtschaft

2.1 Umrechnungsfaktoren

Folgende Umrechnungsfaktoren wurden angesetzt:

Tabelle A-1 Umrechnungsfaktoren

Stoffstrom	Faktor	Einheit	Quelle
Holz	0,64	$t_{\text{lutro}} / \text{fm}$	Mantau, Bilitewski 2005
Holz und Holzprodukte	0,8	$t_{\text{atro}} / t_{\text{lutro}}$	Öko-Institut 2004
Altpapier-, Holz- und Zellstoff	0,9	$t_{\text{atro}} / t_{\text{lutro}}$	vdp 2004
Altpapier	0,9	$t_{\text{atro}} / t_{\text{lutro}}$	vdp 2003
Rinde	0,5	$t_{\text{atro}} / t_{\text{lutro}}$	Marutzky 2004

2.2 C-, N- und P-Gehalte

Folgende C-, N- und P-Gehalte wurden im Bereich der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft angenommen:

Kohlenstoffgehalte bezogen auf die Trockenmassen:

Holz 0,49 [Öko-Institut 2004]

Rinde 0,45 [Zöttl 1994]

Papier 0,55 [LfU Bayern 2003] [Öko-Institut 2004] [ETH 1996]

Holzstoff, Zellstoff, Altpapierstoff, Papierschlamm: erste Näherung: wie Papier

Holzasche [Öko-Institut 2004]

Stickstoffgehalte bezogen auf die Trockenmassen:

Holz 0,0016 [Öko-Institut 2004]

Rinde 0,005 [Zöttl 1994]

Papier 0,0049 [LfU Bayern 2003]

Holzstoff, Zellstoff, Altpapierstoff: erste Näherung: wie Papier

Holzasche [Eberhard et al. 2002]

Phosphorgehalte bezogen auf die Trockenmassen:

Holz 0,0002 [videncenter 1999]

Rinde 0,0003 [Zöttl 1994]

Papier 0,0003 [Lfu Bayern 2003]

Holzstoff, Zellstoff, Altpapierstoff: erste Näherung: wie Papier

Holzasche 0,02 [Videncenter 1999]

2.3 Dokumentation der einzelnen Stoffströme

Im Folgenden werden die Angaben zu den wichtigsten Stoffströmen dokumentiert. Insbesondere werden die Quellen aufgeführt, und es werden eigene Annahmen erläutert.

Holzeinschlag Stamm- und Industrieholz:

Inlandsaufkommen an Stammholz und Industrieholz von 47,5 Mio. fm in 2002 nach [Mantau 2004] auf Grundlage der Bundeswaldinventur 2. Vergleich mit der Holzeinschlagsstatistik: Einschlag von 42,4 Mio. m³ in 2002) nach [BMVEL 2005]. Der Unterschied zwischen Holzeinschlagsstatistik und der Bundeswaldinventur beruht auf methodischen Unterschieden. Die zweite Bundeswaldinventur liegt mit den Zahlen ca. 10 % höher als die Holzeinschlagsstatistik, bezieht auch teilweise die Brennholznutzung ein und macht andere Schätzungen und Annahmen [BWI 2002].

Holzeinschlag Sonstiges Schwachholz und Waldrestholz:

Sonstiges Schwachholz = Holz aus Durchforstung; kein Einsatz als Industrieholz; Waldrestholz = Ernterückstände aus Stamm/Industrieholzgewinnung (Kronen, Äste etc.)

Errechnet aus Wärmeerzeugung in den verschiedenen Sektoren abzüglich des Brennholzes. Dieser Wert ist eine grobe Abschätzung, da es keine Daten zur Waldrestholznutzung gibt.

Brennholz, sonstiges und statistische Differenzen: eigene Annahme: die Differenz zwischen dem Aufkommen an Industrie- und Stammholz und der Verwendung in Export, Holzindustrie und Papierindustrie wird als Brennholz genutzt. Diese Zahl ist äußerst ungenau, da sie auch alle sonstigen Holznutzungen, die statistischen Differenzen und Ungenauigkeiten durch verschiedene Umrechnungsfaktoren umfasst.

Importe von Stamm- und Industrieholz durch die Holzindustrie: nach [Mantau, Bilitewski 2005] 326 kt; Datenbasis für 2002;

Sonstige Importe Rohholz: nach [BMVEL 2003] beträgt die gesamte Rohholzeinfuhr in 2002 2.703.000 m³. Umrechnung in t_{lutro} mit dem Faktor 0,56 (eigene Annahme; niedrigerer Faktor gewählt als bei Mantau, Bilitewski [2005], da überwiegend Nadelrohholz importiert wurde). Von der gesamten Rohholzeinfuhr werden noch die Importe in die Holz- und Papierindustrie abgezogen.

Export Rohholz: nach [BMVEL 2003] beträgt die Rohholzeinfuhr in 2002 4.832.000 m³. Umrechnung in t_{lutro} mit dem Faktor 0,64 wie in [Mantau 2005].

Stamm- und Industrieholz in der Holzindustrie: nach [Mantau, Bilitewski 2005]

23.812 kt; Datenbasis für 2002;

Sekundärrohstoffe Sägeindustrie: nach [Mantau, Bilitewski 2005]; Datenbasis für 2002

Sägenebenprodukte: [Mantau et al. 2002]; Daten für 2001: 11,3 Mio. fm Sägenebenprodukte (ohne Rinde); Steigerung der Schnittholzproduktion von 2001 nach 2002 um 14% nach [BMVEL 2004]. Annahme: gleiche Steigerung bei den Sägenebenprodukten.

Rindenanteil bei den Sägenebenprodukten: nach [Marutzky 2004] auf Grundlage von [Mantau 2004]: 4.580.000 Srm

Sägenebenprodukte – Einsatz als Sekundärrohstoff in Holzwerkstoffindustrie: 4,663 Mio. t_{utro} nach [Mantau, Bilitewski 2005]; Datenbasis für 2002; davon 4,605 Mio. t aus dem Inland.

Sägenebenprodukte – Einsatz als Sekundärrohstoff in Holzschliff- und Zellstoffindustrie: [Mantau et al. 2002]; Daten für 2001: 1.232.000 t_{atro} . Annahme, dass das Industrierestholz aus Sägewerken und Handel, dass in der Papierindustrie eingesetzt wird, vollständig aus Sägenebenprodukten besteht. Steigerung von 2001 auf 2002 nach [vdp 2003] + 3%.

Sägenebenprodukte – Nettoexport: Abgeschätzt nach Daten für das Jahr 2000 von [Mantau et al. 2002]

Sägenebenprodukte – Energetische Verwertung: eigene Annahme: alle Sägenebenprodukte, die nicht als Sekundärrohstoff genutzt werden, werden energetisch verwertet!

Sonstiges Industrierestholz: Reststoffe aus der Produktion von Halbwaren und der Produktion von Fertigwaren (keine Sägenebenprodukte) nach [Mantau, Bilitewski 2005]; Datenbasis für 2002

Rindenanteil bei den sonstigen Reststoffen: nach [Marutzky 2004] auf Grundlage von [Mantau 2004]: Anfall von 610.000 Srm in der Holzwerkstoffindustrie und 80.000 Srm in der Furnier/Sperrholzproduktion; Wassergehalt von 50% nach [Marutzky 2004].

Nettoimporte Halb- und Fertigwaren: nach [Mantau, Bilitewski 2005]; Datenbasis für 2002

Stamm- und Industrieholznutzung - Sonstiges: nach [Mantau, Bilitewski 2005]; Datenbasis für 2002

Fertigwaren, Bau, Möbel, Verpackung/Transport, sonstige Holzprodukte: nach [Mantau, Bilitewski 2005]; Datenbasis für 2002

Holzabfälle von anderen Bereichen: nach [Mantau, Bilitewski 2005]; Datenbasis für 2002

Altholz-Importe: nach [Mantau, Bilitewski 2005]; Datenbasis für 2002

Summe entsorgter Holzabfälle: nach [Mantau, Bilitewski 2005]; Datenbasis für 2002

Wärmeerzeugung in privaten Haushalten: nach [je 2004] mit der eigenen Annahme, dass Pellets in 2002 im Verhältnis zu Waldrestholz vernachlässigbar sind. (Gesamtpelletabsatz in BRD in 2002 nur rund 77.000 t [je 2004]; Berücksichtigte Brennstoffe: Hackschnitzel und Scheitholz; Datenbasis für 2002; Angaben in t Frischmasse (für feuchtes Holz mit einem Heizwert 14,8 MJ/kg; trockenes Holz Heizwert von 18,5 MJ/kg)

Einsatz in Heizkraftwerken: nach [je 2004] in 2002: 397.000 t Frischmasse

Einsatz in Gewerbe, Dienstleitung, Handel bis 500 kW: Nach [ie 2004] wurde in 2003 1.744 – 2.599 kt/a (Frischmasse) an Holzbrennstoffen eingesetzt. Weitergerechnet mit Mittelwert. Eigene Annahme nach [LWF 2004]: 74% des Brennstoffs besteht aus Waldhackschnitzeln.

Entsorgung: nach [Mantau, Bilitewski 2005]; Datenbasis für 2002

Asche: Der Aschegehalt variiert stark nach Baumart und nach Rindenanteil (Beispiel: Kiefer 0,5% (TS) Asche, Fichte 1,5 % (TS). Holzhackschnitzel Rinde: 6% Holzhackschnitzel Stammholz 0,25% [videncenter 1999]. Nach [videncenter 1999] liegt bei Holzhackschnitzeln der Ascheanteil bei 1% bei Phosphorgehalten im Holz von 0,02%. Damit hätte die Asche einen P-Anteil von 2%, wenn alled Phosphor in die Asche transferiert werden würde. Holzenergie Schweiz gibt hingegen einen Phosphoranteil von 0,5 – 1,5% in der Asche an [Holzenergie Schweiz]. WSL [2000] nennt für Asche aus zwei Schnitzelfeuerungen einen P-Anteil von 1,6%. In der vorliegenden Stoffstromanalyse wird mit einem Ascheanteil von 1% und einem P-Anteil von 2% in der Asche ausgegangen. Die Zahlen sind damit eine obere Abschätzung. Da die Asche in erster Linie von Erde und Sand in der Rinde stammt, kann nur eine sehr grobe Aschebilanz gemacht werden; noch ungenauer ist dementsprechend die Phosphorbilanz. Im ersten Ansatz wird vereinfacht mit einem einheitlichen Ascheanteil und einem einheitlichen Phosphoranteil für alle Holzfraktionen gerechnet. Weitere Angabe für Phosphorgehalt in Hackschnitzeln verschiedener Baumarten in [videncenter 1999]. Weitere Angaben für P-Gehalte in verschiedenen Holzfraktionen (Hackschnitzel, Altholz etc.) in [EMPA 2002]. Stickstoffgehalt in der Asche: 0,8 % nach [Eberhard et al. 2002]

Importe Industrieholz der Papierindustrie: Abgeschätzt nach vdp [2003] (Importe Faserholz 33.000 fm ohne Rinde) abzüglich der Importe an Sägenebenprodukten. Umrechnung in t_{utro} mit dem Faktor 0,64 t/fm

Importe Sägenebenprodukte der Papierindustrie: Abgeschätzt nach [Mantau 2002] mit Daten für 2001 (8.470 t atro)

Industrieholz in Holz- und Zellstoffherstellung: Nach Vdp [2003] werden in 2002 7.199.000 fm o.R. Faserholz einschließlich Sägenebenprodukte in der inländisch Zellstoff- und Papierindustrie verbraucht. (Hiervon wird der Input der Sägenebenprodukte abgezogen. Umrechnung in t_{utro} mit dem Faktor 0,64 t/fm)

Sägenebenprodukte in Papierindustrie: nach [Mantau et al. 2002], S. 42; Annahme, dass das Industrierestholz aus Sägewerken und Handel, das in der Papierindustrie eingesetzt wird, vollständig aus Sägenebenprodukten und nicht aus anderen Industrieresthölzern besteht.

Output der inländischen Holzstoff- und Zellstoffherstellung: Nach vdp [2003] Erzeugung Holzstoff 1.252.000 t_{utro} , Erzeugung Zellstoff 896.000 t_{utro} (10% Wassergehalt)

Exporte Holz- und Zellstoff: Nach vdp [2003] 524.000 t_{utro}

Importe Holz- und Zellstoff: Nach vdp [2003] 4.040.000 t_{utro} (Holzstoff: 158.000 t; Zellstoff 3.856.000 t)

Industrieholz und Sägenebenprodukte in ausländische Holz- und Zellstoffherzeugung: Der Holzinput in die ausländische Holz- und Zellstoffproduktion wird grob abgeschätzt mit der Annahme, dass der spezifische Holzverbrauch für die ausländische Holzstoff- und Zellstoffproduktion derselbe ist. (Nach vdp [2003] werden in der BRD für

1.252.000 t Holzstoff 3.171.000 fm Holz eingesetzt und für 896.000 t Zellstoff 4.028.000 t fm Holz. Aus dem Ausland bezogen werden 158.000 t Holzstoff und 3.856.000 t Zellstoff.)

Input von Holz- und Zellstoffen in die dt. Papierindustrie: Die Menge ergibt sich rechnerisch aus Erzeugung, Export und Import und beträgt 5.637.000 t. Der Verbrauch von Zellstoff liegt bei 5.684.000 t. Die Änderung der Lagerbestände spielt damit eine vernachlässigbar kleine Rolle.

Rindenabfälle in der Papierindustrie: nach [Marutzky 2004] auf Grundlage von [Mantua 2004]: 1.390.000 Srm

Rindenanfall bei den Sägenebenprodukten: nach [Marutzky 2004] auf Grundlage von [Mantau 2004]: 4.580.000 Srm

Rindenanfall bei den sonstigen Reststoffen der Holzindustrie: nach [Marutzky 2004] auf Grundlage von [Mantau 2004] :80.000 Srm in der Furnier/Sperrholzindustrie und 610.000 Srm in der Holzwerkstoffindustrie.

Altpapiereinsatz: Nach vdp [2003] 12.038 kt.

Altpapierstoff: Nach vdp [2003] 9.871 kt.

Papier, Karton- u. Pappenproduktion: Nach vdp [2003] 18.526 kt.

Importe Papier, Karton- u. Pappen: Nach vdp [2003] 10.020 kt.

Exporte Papier, Karton- u. Pappen: Nach vdp [2003] 9.562 kt.

Druck- u., Pressepapiere/Büro- und Administrationspapiere: Nach vdp [2003] 8.890 kt.

Papier/Karton/Pappe für Verpackungszwecke: Nach vdp [2003] 7.366 kt.

Hygienepapiere: Nach vdp [2003] 1.036 kt.

Papier u. Pappe für technische u. spezielle Verwendungszwecke: Nach vdp [2003] 1.234 kt.

Altpapiereinsatz: Nach vdp [2003] 12.038 kt.

Altpapierstoff: Nach vdp [2003] 9.871 kt.

Altpapiererfassung: Nach vdp [2003] 13.7177 kt.

Nicht getrennt gesammeltes Altpapier aus HH und Gewerbe: Nach vdp [2004] 2.530 kt in 2002.

Nicht erfassbare Produkte (z.B. Abwasser, Hausbrand): Nach vdp [2004] 711 kt in 2002.

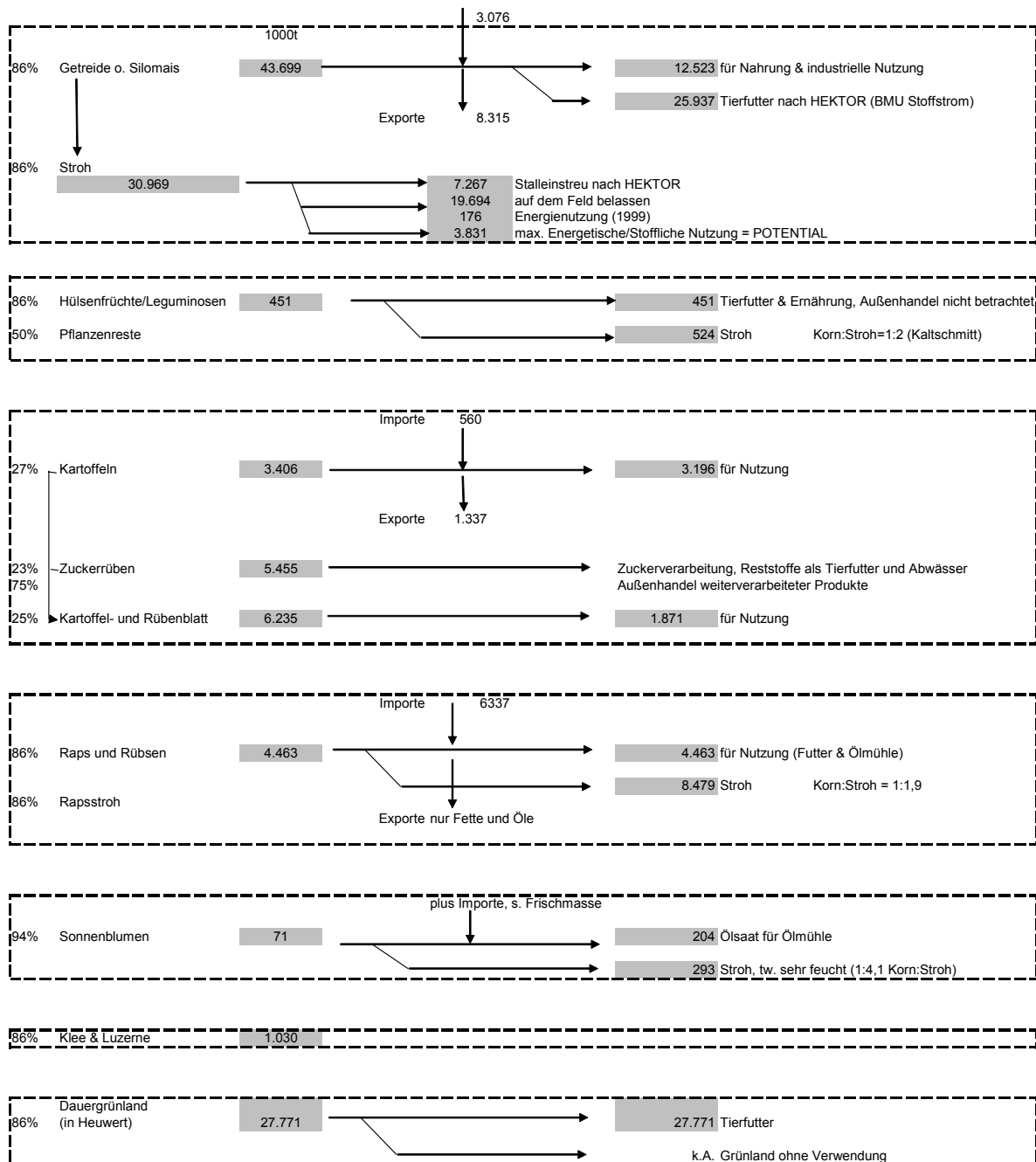
Nettoexportüberschuss weiterverarbeiteter Produkte: Nach vdp [2004] 1063 kt in 2002.

Langlebige Produkte: Nach vdp [2004] 605 kt in 2002.

Altpapier Nettoexportüberschuss: Nach vdp [2004] 1.659 kt.

3 Fließschemen Landwirtschaft

Abbildung A-5: Fließschema Pflanzenbau – Trockenmasse



Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen

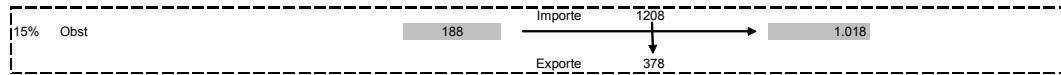
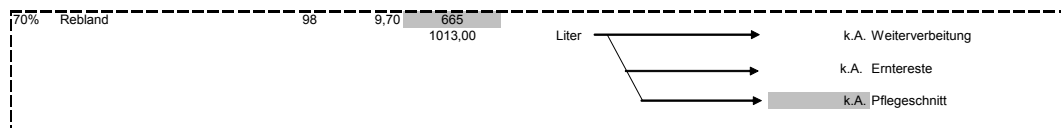
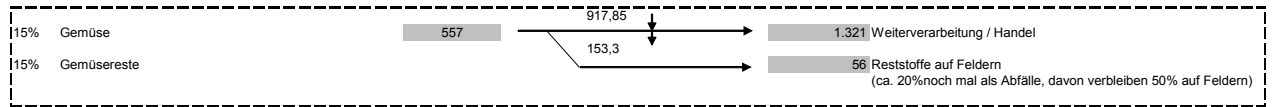


Abbildung A-6: Fließschema Pflanzenbau – Kohlenstoff

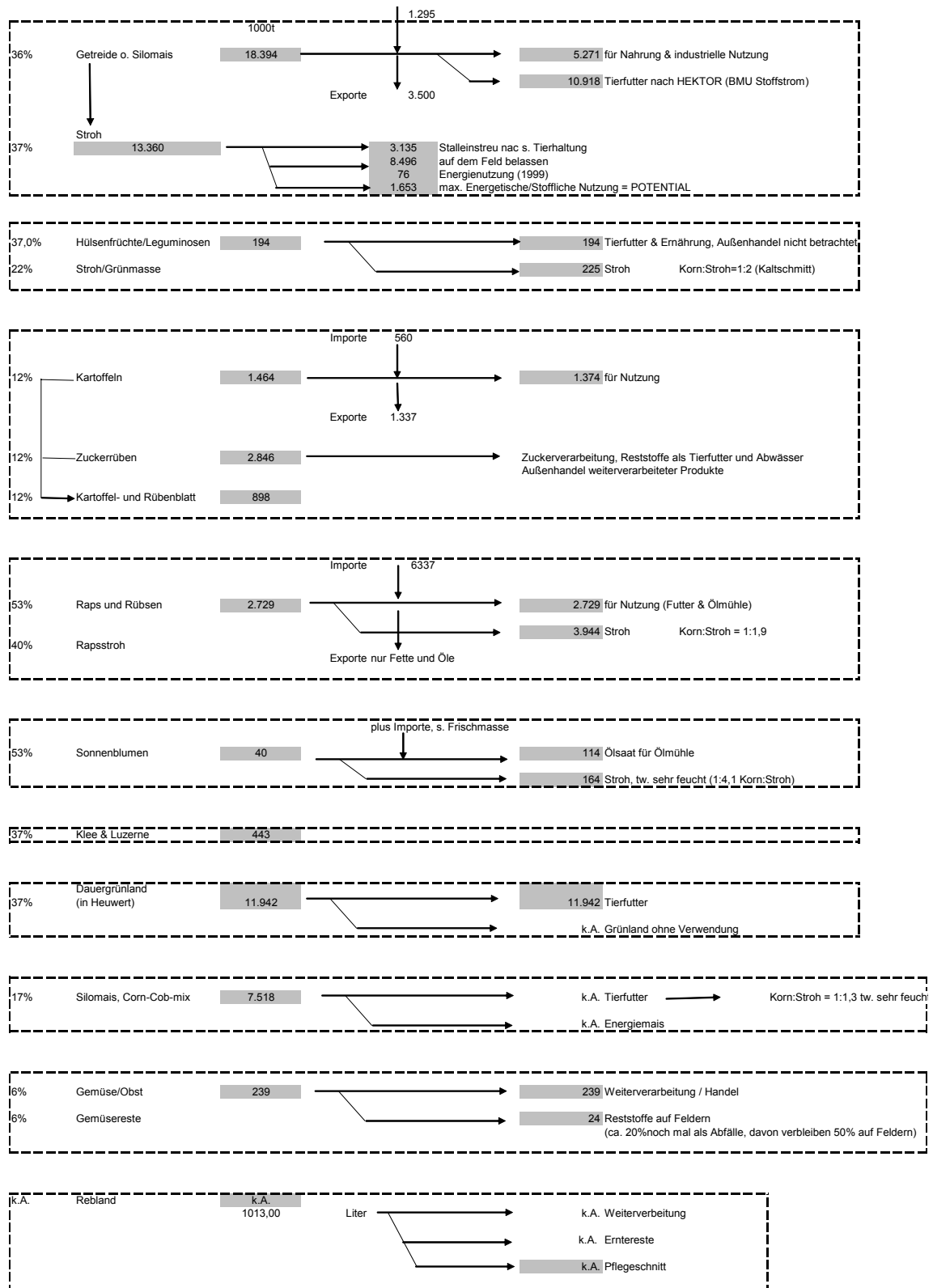


Abbildung A-7: Fließschema Pflanzenbau – Stickstoff

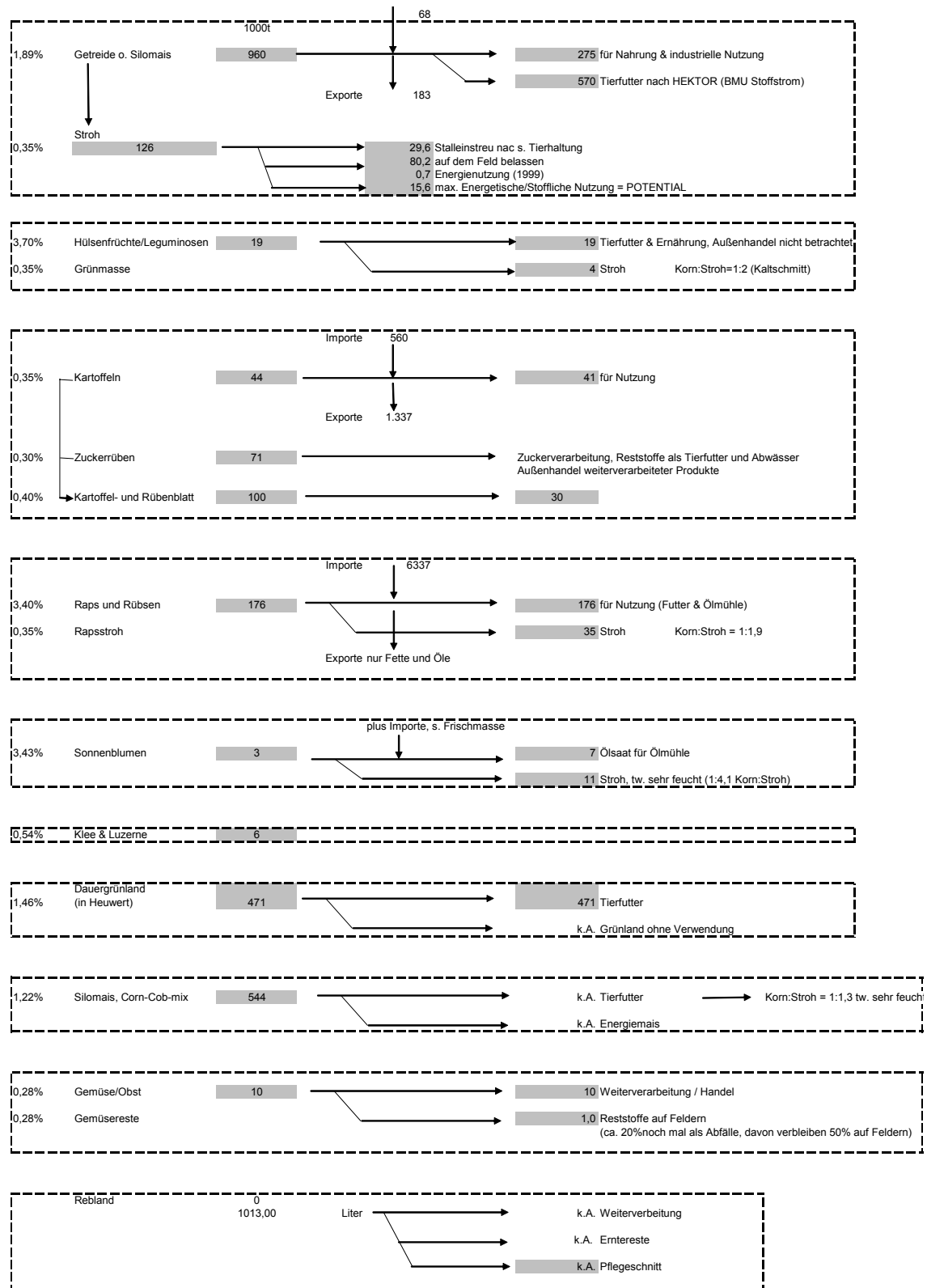


Abbildung A-8: Fließschema Pflanzenbau – Phosphor

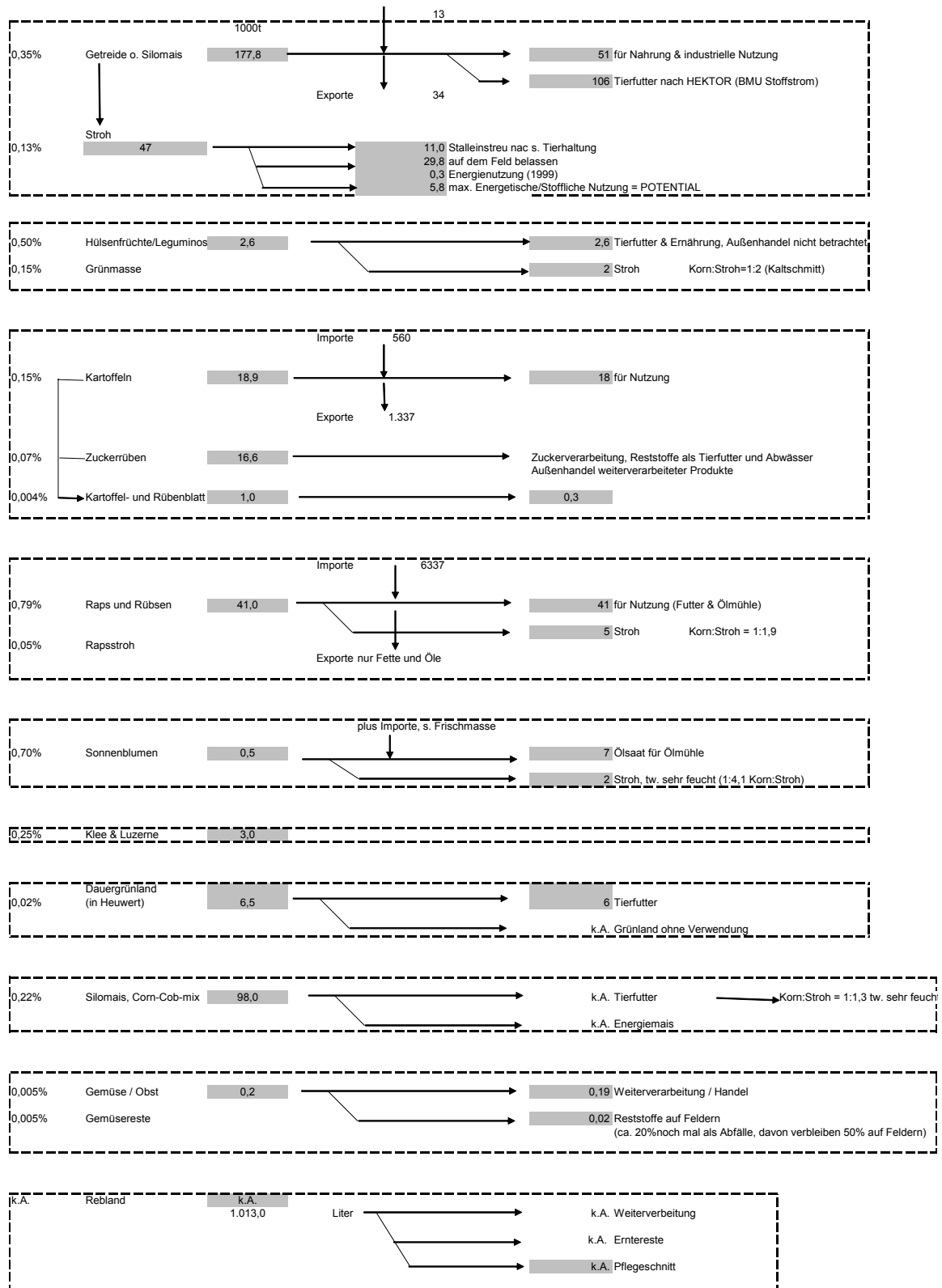
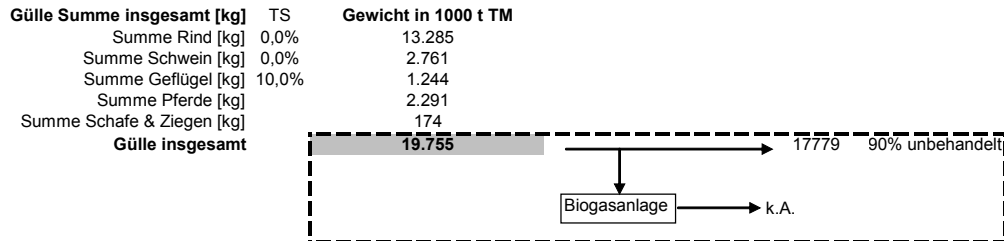
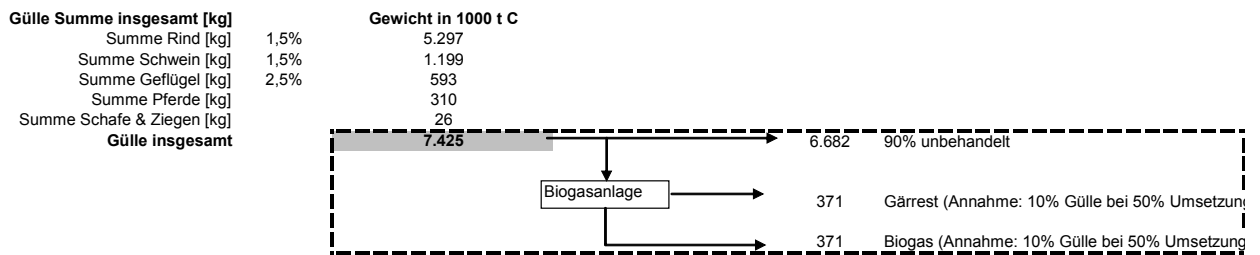


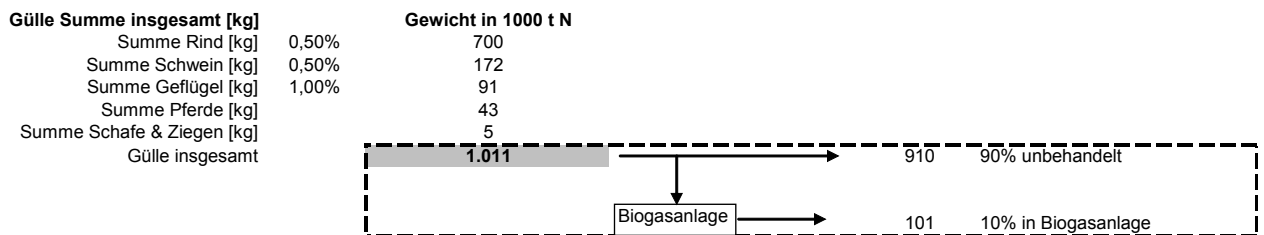
Abbildung A-9: Fließschema Gülle Trockenmasse



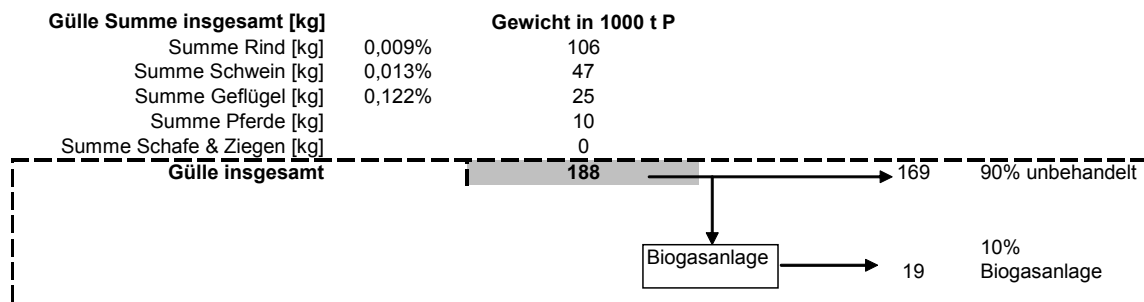
Fließschema Gülle Kohlenstoff



Fließschema Gülle Stickstoff



Fließschema Gülle Phosphor



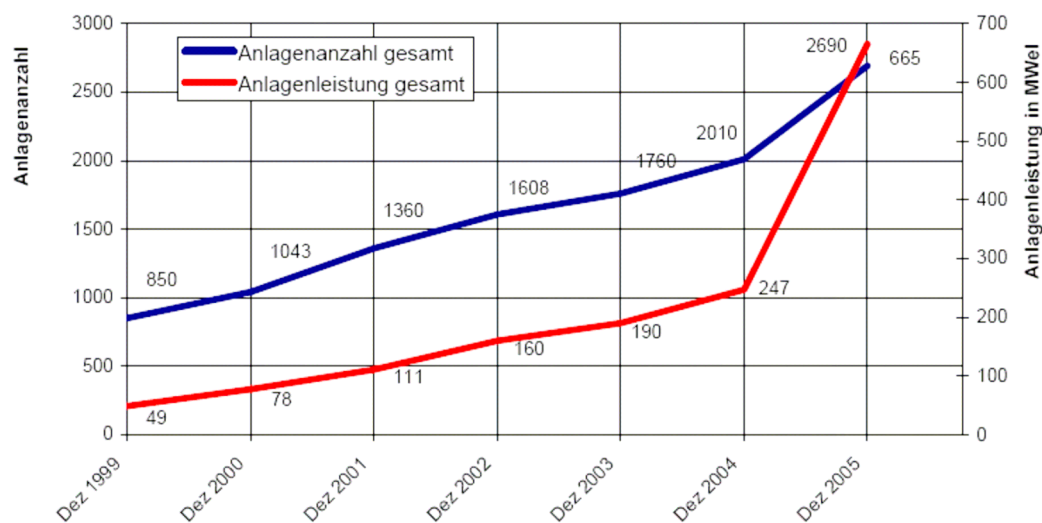
4 Anhang Güllenutzung

4.1 Heutige Biogasgewinnung aus Gülle

Heute fallen in Deutschland knapp 150 Mio. t Flüssigmist (auch Gülle) und 23 Mio. t Festmist in der Nutztierhaltung¹ an. Diese werden unbehandelt oder nach einer Vergärung auf landwirtschaftlichen Flächen als Wirtschaftsdünger ausgebracht.

Mit der Einführung des EEG im Jahr 2000 hat sich Die Zahl der Biogasanlagen auf rund 2.700 verdreifacht und die installierte Leistung hat sich um den Faktor 13 vervielfacht. Ende 2005 betrug die gesamte installierte Leistung der der in Betrieb befindlichen Biogasanlagen rund 665 MW-el [IE 2006], siehe Abbildung A-10.

Abbildung A-10: Stand und Entwicklung von Biogasanlagen 12/2005 [IE 2006]



Tierexkrementen sind mit einem Massenanteil von 51 % die vorherrschende Substratgruppe, wobei diese meist nicht allein eingesetzt werden, sondern das Grundsubstrat für andere Kofermente bilden (zumeist nachwachsende Rohstoffe). Da Gülle einen hohen Wasseranteil hat, ist die Biogasbildung pro Tonne geringer als bei anderen Substraten – entsprechend ist der Gasertrag mit rund 20 % deutlich geringer als ihr Massenanteil, siehe Tabelle A-2.

¹ Das sind die Exkrementen von Rindern, Schweinen und Geflügel. Andere Tierarten werden in diesem Zusammenhang vernachlässigt, da deren Beitrag gering ist (z.B. Pferde, Schafe).

Tabelle A-2 Massenanteile der eingesetzten Substrate und deren Beitrag zur Biogasproduktion

	Mai 2005		Nov/Dez 2005	
Substrate	Masse [IE 2005a°]	Gasertrag*	Massen [IE 2006]	Gasertrag*
Exkremente	52%	23%	51%	17%
Bioabfall	9%	18%	11%	16%
Nawaro	4%	13%	22%	52%
Reststoffe	35%	46%	16%	15%

* eigene Schätzung auf Basis von FNR [2003]

Für die Biogasproduktion ein großes Wachstum zu verzeichnen: Die Verstromung von Biogas hat sich aufgrund der neuen Regelungen des EEG gegenüber dem Vorjahr mehr als verdoppelt, nämlich von 1,4 Mrd. kWh auf rund 3,2 Mrd. kWh [BMU 2006]. Stammt ein Viertel der Energie aus Gülle, so werden derzeit etwa 400 Mio. m³/a Biogas aus Gülle produziert². Damit sind derzeit knapp 10 % des Güllepotenzials erschlossen.

Mit dem gesamten, zur Verfügung stehenden Biogaspotenzial aus Gülle und Festmist könnten 1,5 % des heutigen Strombedarfs und 0,6 bis 0,9 % des heutigen Wärmebedarfs gedeckt werden. Der Ausbau der Biogasproduktion aus Gülle damit nicht von der zukünftigen Entwicklung der Nachfrage, sondern vielmehr vom Bau weiterer Biogasanlagen abhängig.

Durch die Förderung von Strom aus Biogas durch das EEG, ist davon auszugehen, dass das Biogas auch bevorzugt zur Stromerzeugung wird (teilweise mit Wärmenutzung in KWK). Daneben ist angesichts des steigenden Ölpreises und des alternativen Kraftstoffziels der Europäischen Union auch die konkurrierende Anwendung im Verkehrsbereich möglich. In welchem Maße sich diese Nutzung durchsetzen könnte bzw. explizit gefördert werden sollte, untersucht das BMU-geförderte Projekt „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030“. Auf Einzelheiten der Kraftstoffnutzung wird daher hier nicht eingegangen. Weitere Informationen über die Umwelteffekte von Biogas im Verkehrssektor sind zudem in Öko-Institut [2004] dargestellt.

² Für einen Heizwert von 6,5 kWh/m³ für Rohbiogas aus Gülle, einem elektrischen Wirkungsgrad von 33% und einer Biogasbildung von 25m³ pro Tonne Gülle.

Ohne die Förderung einer stofflichen Nutzung von Biogas (z. B. in der Grundstoffchemie), ist dieser Pfad gegenüber der energetischen Nutzung aus ökonomischer Perspektive unattraktiv und wird daher nicht betrachtet.

4.2 Biogaspotenzial und dessen Mobilisierung bis 2020

Der Zubau von Biogasanlagen findet vor allem in den größeren Leistungsbereichen statt und wirkt sich deutlich auf die installierte Leistung aus. Die durchschnittliche Leistung der 2005 in Betrieb befindlichen Anlagen liegt bei 150 kW-el. Dagegen liegt die Leistung der 2005 in Betrieb genommenen Anlagen bei 380 kW-el. Die Anlagengröße hängt auch von der Betriebsstruktur ab: Die kleineren Familienbetriebe, wie sie in Süddeutschland vorherrschen, betreiben im Schnitt auch kleinere Biogasanlagen als die Großbetriebe in den östlichen oder auch nördlichen Bundesländern, siehe nachstehende Tabelle.

Tabelle A-3 Durchschnittliche Größe von Biogasanlagen im Gesamtbestand und im Zubau im Jahr 2005 [IE, 2005a]

	Durchschnittliche Leistung in kW-el	
	Sämtliche Anlagen 2005	Neuanlagen 2005
Bayern, Baden-Württemberg	95	250
Brandenburg	480	k.A.
Deutschland	150	380

Mit zunehmender Anlagengröße wird nicht zwangsläufig bevorzugt die Gülle größerer Viehbestände erfasst, denn durch den Nawaro-Bonus wird zunehmend mehr Anbaubiomasse als Kosubstrat vergoren. Damit kann das notwendige Gülleangebot zum wirtschaftlichen Betrieb einer Biogasanlage geringer liegen als bei einer Monovergärung von Gülle. Voraussetzung ist allerdings, dass den Betrieben entsprechende Flächen für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung stehen oder Energiepflanzen günstig zugekauft werden können. Zusätzlich besteht die Möglichkeit zur Realisierung einer Gemeinschaftsanlage.

Da die Stromgestehungskosten mit Gülle niedriger liegen als die von Nawaro [Öko-Institut 2004, IE 2005b], ist umgekehrt eine Verdrängung von Gülle zugunsten der nachwachsenden Rohstoffe unwahrscheinlich. Die aktuelle, deutliche Zunahme von

Nawaro-Anlagen geht auf andere Gründe zurück: Die Anlagenbetreiber wechseln von industriellen Kosubstraten zu Energiepflanzen für die Vergärung um den Nawaro-Bonus abzuschöpfen. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass viele Anlagenbetreiber bei der Auslegung der Anlage Kapazitäten vorgehalten haben, die sie seit der EEG-Novelle mit Energiepflanzen belegen [Keymer 2004].

Lediglich der Technologiebonus für die Trockenfermentation könnte dazu führen, dass sich Anlagenplaner für eine Trockenfermentationsanlage entscheiden und regionale Güllepotenziale übersehen – im Gegenzug können aber auch Festmistpotenziale aktiviert werden [Fachverband Biogas 2006].

Aus diesen Gründen wird hier davon ausgegangen, dass Wirtschaftsdünger prinzipiell ab einer Betriebsgröße von etwa 50 GVE für die Vergärung mobilisierbar ist. Für die weitere Betrachtung werden Festmist und Gülle zusammengefasst und wie Gülle behandelt, da für die Trockenfermentation derzeit noch keine Prozesse in GEMIS existieren.

Mit den Annahmen für die zukünftige Entwicklung des Viehbestands in Deutschland (Tierzahlen und Betriebsgröße) ergibt sich bis ins Jahr 2020 eine Potenzialabnahme um 12% gegenüber heute [Öko-Institut 2004 – überarbeitet nach Simon 2006]. Das entspricht einer Abnahme von jährlich 4,27 Mrd. m³ Biogas auf 3,76 Mrd. m³.

4.3 Beschreibung der Prozesskette Güllevergärung und Biogasnutzung

In diesem Abschnitt werden die gesamte Prozesskette der Güllevergärung und die Unterschiede gegenüber der traditionellen Lagerung und Ausbringung unbehandelter Gülle beschrieben.

Vergärung mit Gärrestlagerung gegenüber traditioneller Güllelagerung

Flüssigmist muss zwischengelagert werden, da er zu Düngezwecken nur zu geeigneten Zeitpunkten aus Sicht des Pflanzenbaus ausgebracht werden kann. Aus Umweltgründen ist zudem in allen Bundesländern ein Ausbringen von (Wirtschafts)Düngern in den Wintermonaten untersagt [FNR 2004]. Üblicherweise sind die Güllelager ohne Abdeckung (offene Lager), weshalb größere Mengen an Ammoniak, Methan, Lachgas und anderen Spurengasen freigesetzt werden können. Die Emissionshöhe hängt von

verschiedenen Faktoren ab, wie etwa der pH-Wert, Zusammensetzung und Struktur der Gülle ab sowie von Bildung von Schwimmschichten.

In einer Biogasanlage unterliegt die Gülle dagegen dem kontrollierten Prozess der anaeroben Vergärung. Dabei wird ein Teil der organischen Trockensubstanz in Biogas metabolisiert, das aufgefangen und energetisch genutzt wird. Der Fermenterrest wird in einen Nachgärbehälter gefüllt, um die Ausbeute an Biogas zusätzlich zu erhöhen und Emissionen in die Atmosphäre zu vermeiden. In der sog. Nachgärung kann nochmals bis zu 20 % der Gesamtausbeute gewonnen werden. Durchschnittlich sind die Gärrestlager jedoch bei zwei Dritteln der Anlagen offen und nur zu einem Drittel geschlossen, wobei letztere zudem oft nur geruchsmindernd abgedeckt und nicht gasdicht verschlossenen sind [IE 2004].

Im Biogaspfad ist das Emissionspotenzial der vergorenen Gülle gegenüber der Lagerung unbehandelter Gülle deutlich reduziert – vorausgesetzt das Substrat hat im Fermenter einen hohen Abbaugrad erzielt [FNR 2004]. Die eingesparten Emissionen (und damit verbundene Aufwendungen) entfallen und können dem Biogasprozess gutgeschrieben werden. Doch muss beachtet werden, dass bei der Lagerung der Gärreste ebenfalls Emissionen entstehen können, die zu berücksichtigen sind.

Erwähnt werden sollen auch zwei weitere positive Effekte: Durch eine Vergärung können Geruchsbelästigungen und eine Verbreitung von Keimen deutlich reduziert werden³.

Unterschiede bei der Ausbringung von Gärresten gegenüber Gülle

Nach der Lagerung folgt die Ausbringung von Gülle und Gärresten. Auch dieser Schritt ist mit Emissionen verbunden, die von der Lagerungsdauer und der Behandlung der Gülle sowie von der Applikationstechnik abhängen.

Untersuchungen von Amon et al. [in KTBL 2002] zeigen deutlich, dass die Emissionen bei der Ausbringung geringer sind, wenn Gülle und Gärreste zuvor sechs Monate lang gelagert wurden (gegenüber frischer Gülle). In Bezug auf die Behandlung zeigt die vergorene Gülle (mit Gärrestlagerung) für die beiden Klimagase Methan und Lachgas die geringsten Emissionen. Bei den Ammoniakemissionen ist es genau umgekehrt, der Wert steigt bei vergorener Gülle gegenüber unbehandelter an, da durch den höheren

³ Gülle enthält hygienisch relevante Bakterien und Keime, die bereits bei mittleren Windstärken in die Umgebungsluft gelangen und Darminfektionen hervorrufen können (www.uba.de). Mit dem Temperaturniveau der Vergärung werden diese Keime deutlich dezimiert.

pH-Wert vergorener Gülle sich das Reaktionsgleichgewicht von Ammonium hin zum flüchtigen Ammoniak verschiebt.

Beeinflussen lässt sich die Höhe der Emissionen zusätzlich durch die Ausbringungstechnik. Der Gärrest ist etwas flüssiger als Gülle und lässt sich mit dem Schleppschlauch applizieren, wobei weniger Emissionen auftreten als bei Ausbringung mit dem Breitverteiler/Prallteller.

Biogasnutzung zur Strom- und Wärmeerzeugung

Als Referenztechnologie für die elektrische Energie dient in den Szenarien der deutsche Strommix (für die Jahre 2000 und 2020). Die Daten hierfür stammen aus GEMIS, es wurde folgender Mix zugrunde gelegt, siehe folgende Tabelle.

Tabelle A-4 Zusammenfassung des Strommix für die Szenarien 1 [GEMIS 2005]

	2000	2020*
Steinkohle	24,7%	32,1%
Braunkohle	25,4%	30,6%
Gas	8,8%	10,4%
Öl-schwer	0,5%	0,2%
Müll	2,9%	2,5%
Uran	30,2%	13,9%
Wasser	4,8%	4,4%
Wind	1,7%	4,7%
Solar		0,2%
Holz	1%	1%
Sonstiges		

Für den Vergleich der einzelnen Blockheizkraftwerke wurde der Biogasnutzung ein Erdgas-BHKW gegenübergestellt, um den Umweltentlastungseffekt durch den Einsatz von Biogas zu verdeutlichen. Ein Vergleich mit Netzstrom und einer Erdgaszentralheizung würde noch deutlichere Unterschiede zeigen, doch ginge diese dann nur zu einem Teil auf den regenerativen Brennstoff zurück, der andere Teil wäre durch die bessere Primärenergieausnutzung in der Kraft-Wärme-Kopplung begründet. Darauf wurde verzichtet, da der Gesamteffekt aus der Szenariorechnung für den breiten Biogaseinsatz bereits deutlich wird.

Die Szenariorechnung spiegelt die derzeitige Verteilung der Leistungsklassen und anteilige Wärmenutzung wider und für die Szenarien bis ins Jahr 2020 wird die mögliche zukünftige Entwicklung der Leistungsklassen berücksichtigt. Die angenommene Stromerzeugung nach Leistungsklasse ist in der folgenden Tabelle berücksichtigt.

Tabelle A-5 Zusammenfassung des Strommix für die Szenarien 2 [GEMIS 2005]

inst. Leistung	erzeugter Strom 2005	Zubau 2020- 65%	Zubau 2020-80%	Zubau 2020-80% +Einspeisung
	kWh			
50 kW-el	60.814.480	---	---	---
200 kW-el	291.040.724	1.637.691.516	2.729.485.860	2.729.485.860
500 kW-el	291.040.724	818.845.758	1.364.742.930	1.364.742.930
1000 kW-el	225.882.353	818.845.758	1.364.742.930	1.364.742.930
Summe	868.778.281	3.275.383.032	5.458.971.720	5.458.971.720
Summe + Bestand 2005	868.778.281	5.458.971.719	5.340.971.719	5.477.322.719

Da die Gülle in ländlichen Regionen anfällt, fehlt bei vielen Biogasanlagen eine ausreichende Nachfrage für die anfallende Wärme. Eine Wärmenutzung findet nur in geringem Ausmaß für den Eigenbedarf und dem Wärmebedarf des Fermenters statt. In dichter besiedelten Regionen gibt es dagegen eine höhere Wärmenachfrage, doch lohnt sich der Transport der Gülle angesichts ihres hohen Wassergehalts nicht.

Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz

Angesichts der geringen Wärmenutzung, könnte Biogas über das Gasnetz zu Einsatzorten transportiert werden, an denen die Biogasnutzung mit einem höheren Gesamtwirkungsgrad realisiert werden kann. Für die Einspeisung müssen verschiedene Probleme gelöst werden, wie etwa die Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität (Reinigung, Trocknung, Energiegehalt einstellen), die derzeit noch kostenintensiv ist.

Weiterhin muss ein Verfahren gefunden werden, dass die Einspeisung und die äquivalente Entnahmemenge regelt, damit – vergleichbar mit grünem Strom – das Biogas extra gehandelt werden kann und weiterhin eine EEG-Vergütung für seine Nutzung gewährleistet ist. Details können bei IE [2006] und WI [2006] nachgelesen werden.

In den Szenarien ohne Einspeisung in das Erdgasnetz wird für alle Biogasnutzungsoptionen eine Wärmenutzung von einer Kilowattstunde pro Kilowattstunde Strom angenommen. Für die beiden Fälle der Erdgaseinspeisung wird die KWK-Quote gesteigert, und zwar für Anlagen mit 500 kW elektrischen Leistungen auf 1 : 1,5 und für Anlagen mit 1000 kW elektrischer Leistung auf 1 : 1,2.

Tabelle A-6 Darstellung der Wärmenutzung in den Szenarien in Abhängigkeit vom eingesetzten BHKW (eigene Annahmen)

inst. Leistung	50 kW-el	200 kW-el	500 kW-el	1000 kW-el	500 kW-el	1000 kW-el
					mit Einspeisung	
el : th	1 : 1	1 : 1	1 : 1	1 : 1	1 : 1,5	1 : 1,25

Ergebnisse des Technologievergleichs

In den Szenarien wird angenommen, dass die Biogasnutzung in Blockheizkraftwerken mit unterschiedlicher Leistung und Wärmenutzung genutzt wird. Weitere Variationen können in der Transportdistanz zur Biogasanlage und in der Einspeisung in das Erdgasnetz liegen. Welchen Einfluss diese Rahmenbedingungen auf die Umweltwirkungen der einzelnen Kraftwerke haben, soll in diesem Technologievergleich veranschaulicht werden, s. Abbildung . Dabei handelt es sich, abgesehen von einer kleineren Anlage mit 50 kW-el (linke Säule), um Biogasanlagen mit 500 kW elektrischer Leistung.

Im Gegensatz zu den Szenarien wird hier als Referenz nicht Netzstrom plus einer Öl- oder Gasheizung gewählt, sondern es dient ein 500 kW-el Erdgas BHKW zum Vergleich. Hierdurch wird der Umwelteffekt nur durch die Verwendung von Biogas gegenüber Erdgas am deutlichsten.

Bei den Treibhausgasemissionen führt der Einsatz von Biogas zu einer deutlichen Reduktion gegenüber fossilem Erdgas. Die Emissionen nehmen sogar negative Werte an. Dies liegt an der Gutschrift für die Wärmenutzung, denn Biogas erzeugt als regenerative Energiequelle kaum Emissionen.

Die Einsparungen an CO₂-Äquivalenten betragen bis zu maximal 555 kg/1000 kWh-el (Fall mit Erdgaseinspeisung). Bei den versauernd wirkenden Emissionen bewirkt der Einsatz von Biogas dagegen eine Zunahme, maximal bis zum dreifachen Wert von erdgasbefeuerten Anlagen. Diese liegt zum einen am höheren Stickoxidausstoß von Biogas begründet (69 % der Emissionsbeiträge), zum anderen in den Transporten der

Gülle (und Kofermenten) zur Biogasanlage (27 % der Emissionsbeiträge), vergleiche Abbildung .

Eine kleinere Biogasanlage mit kleinerem Fermenter (BHKW-klein) hat insgesamt einen etwas geringeren Wirkungsgrad und die Treibhausbilanz fällt etwas schlechter aus als bei dem größeren (BHKW-groß), die Ersparnis ist um 38 kg CO₂/1000 kWh-el geringer.

Wird die Gülle über eine längere Transportdistanz zur Biogasanlage gebracht (25 statt 7 km), fallen pro 1.000 kWh-el etwa 12 kg mehr Treibhausgasemissionen an.

Ein geschlossenes Gärrestlager bringt gegenüber dem Standardfall (BHKW-groß) eine Ersparnis von rund 20 kg Treibhausgasen. Wird dann zusätzlich noch das Biogas ins Erdgasnetz eingespeist und mit höherer Wärmenutzung an einem anderen Ort genutzt, liegt die Ersparnis bei knapp 115 kg pro 1.000 kWh Strom.

Wird das Biogas nicht eingespeist und damit eine geringere Wärmenutzung in Kauf genommen (0,25 statt 1 kWh Wärme pro kWh Strom), so entstehen 208 kg mehr Treibhausgase als Standardfall BHKW-groß (und 323 kg mehr als im Fall mit der Einspeisung).

Bei den versauernd wirkenden Emissionen sieht das Bild vergleichbar aus: Die kleine Anlage emittiert 0,25 kg mehr pro 1.000 kWh Strom. Bei längerer Transportdistanz steigen die Emissionen leicht um 0,09 kg pro 1.000 kWh Strom.

Ein geschlossenes Gärrestlager führt zu einer deutlichen Reduktion an Ammonium-N und damit zu 0,43 kg/1.000 kWh-el weniger versauernd wirkender Emissionen in die Atmosphäre. Die Wirkungsgradsteigerung durch die Einspeisung ins Erdgasnetz hat noch einen leichten zusätzlichen Effekt von 0,03 kg/1.000 kWh-el.

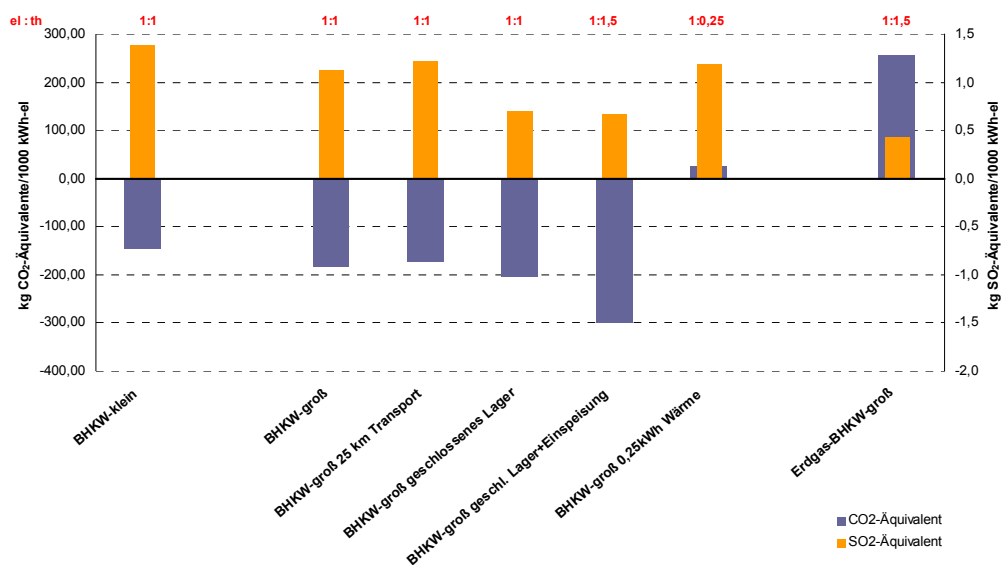


Abbildung A-11: Emissionen von Treibhausgasen und versauernd wirkender Gase von verschiedenen BHKW & Biogassysteme eigene Berechnungen aus Basis von [GEMIS 2005 und Öko-Institut 2004]

Für die Güllevergärung sind verschiedene Gutschriften möglich: Auf der landtechnischen kann durch die Vergärung zur Verringerung des Mineraldüngereinsatzes kommen und es finden Veränderungen hinsichtlich der Spurengasemissionen bei der Lagerung und Ausbringung der Gärreste statt. Auf der energietechnischen Seite kommt es durch die Nutzung von Biogas zur Substitution fossiler Brennstoffe, die betrachtet wird.

Wirkung der Anrechnung veränderter Emissionen

Die Güllevergärung führt insgesamt zu einer Vermeidung atmosphärischer Emissionen von Schad- und Spurengasen, die mit einer Gutschrift belegt werden könnte. In IE [2004] und FNR [2004] wird deutlich gezeigt, dass die Ergebnisse der Ökobilanz der Biogasnutzung wesentlich von den Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von vergorener Gülle im Vergleich zu unvergorener Gülle bestimmt werden. Doch ist auch bekannt, dass bereits kleine Veränderungen bei den Annahmen das Ergebnis empfindlich beeinflussen, da die Emissionsbilanz von diversen Parametern abhängt, die die chemischen Reaktionen beeinflussen, wie Klima- und Bodenverhältnisse sowie Ausbringung- und Lagertechnik. Folglich führt die Kalkulation einer Gutschrift für die Ge-

samtheit aller Anlagen und Stoffflüsse nur zu einem vagen Ergebnis. Für die Szenario-rechnung ist aus diesem Grund keine Gutschrift vergeben worden.

Amon et al. [zitiert in FNR 2004] haben einen großflächig angelegten Versuch zur E-missionsminderung durch verschiedene Verfahren zur Behandlung von Flüssigmist (Milchvieh und Schweine) durchgeführt, der die Emissionen bei Lagerung und Ausbrin-gung von Rohgülle und vergorener Gülle miteinander vergleicht. Die Biogaserzeugung zeigt dabei für die klimarelevanten Emissionen die beste Minderungswirkung. Aus die-sem Grunde soll hier wenigstens im Rahmen einer Variante eine Gutschrift gerechnet werden.

Die Versuche führten bezüglich der einzelnen Schadgase zu folgender Erkenntnis:

1. Die Methanemissionen bei der Güllevergärung nehmen gegenüber unbehandel-ter Gülle deutlich ab,
2. Die Ammoniakemissionen nehmen jedoch zu.
3. In der Regel nehmen auch die Lachgasemissionen zu, fallen aber hinsichtlich ihrer Treibhauswirkung im Vergleich zu den vermiedenen Methanemissionen kaum (nicht) ins Gewicht.

Auswertungen der Daten ([IE 2003], [FNR 2004] und eigene Rechnungen) führen zu einer Bandbreite der Umweltentlastungseffekte, die durch zwei unterschiedlich hohe Gutschriften berechnet werden, s. Tabelle A-7

Tabelle A-7: Gutschrift für eingesparte Emissionen gegenüber unbehandelter Gülle

	NH₃	CH₄	N₂O
	g/kWh-el*	g/kWh-el	g/kWh-el
Gutschrift MIN (eigene Annahmen)	1,480	-21,752	0,158
Gutschrift MAX (Annahmen IE 2004)	1,202	-57,212	0,105
	SO₂-Äquivalent	CO₂-Äquivalent	
Gutschrift MIN	2,78	-457,65	
Gutschrift MAX	2,26	-1.295,73	

* entspricht einer Menge von 17,5 kg Gülle (eigene Annahme, gemittelt)
positiver Wert: zusätzliche Emissionen, negativer Wert: eingesparte Emissionen

Für den Maximalwert der Gutschrift wurden eine abgeschlossenes Lager für die Gärreste und die Ausbringung mit dem Schleppschlauch angenommen, für den Minimalwert der Gutschrift ist ein offenes Gärrestelager und die Ausbringung mit dem Prallteller angenommen.

Ergebnisse der Berücksichtigung veränderter Emissionen

Die Verwendung einer Gutschrift bestimmt deutlich das Endergebnis der gesamten Bilanz: Gegenüber dem Fall ohne Gutschrift führt der Fall mit der minimalen Gutschrift zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um den Faktor 2,5. In beiden Fällen handelt es sich um eine offene Gärrestelagerung und die Ausbringung mit dem Prallteller, siehe Abbildung A-12. Wenn zusätzlich optimierte Technik unterstellt wird (also für den Fall mit der optimierten Gärrestlagerung und –ausbringung), wird die maximale Gutschrift vergeben und die Werte für die Gutschriften für eingesparte Treibhausgasemissionen steigen sogar um das 5-fache.

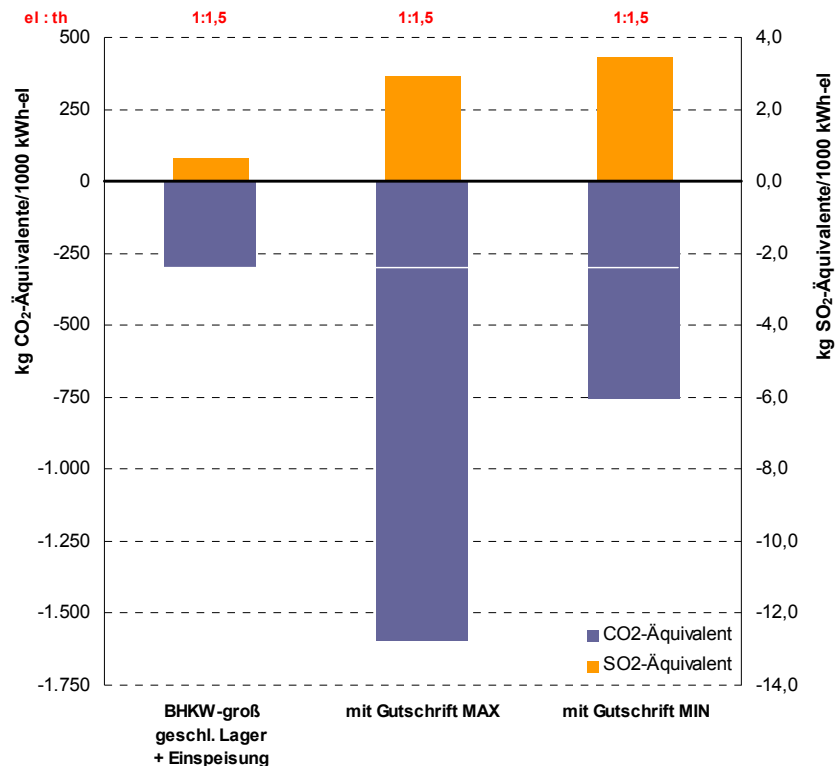


Abbildung A-12: Emissionen von Treibhausgasen und versauernd wirkenden Gasen eines Biogas-BHKW mit und ohne Gutschriften für vermiedene Emissionen aus der Güllelagerung und -ausbringung

Die Gutschrift führt jedoch nur bei den Treibhausgasemissionen zu einer Verbesserung. Bei den versauernd wirkenden Emissionen führt sie dagegen zu weiteren Lasten, da die Vergärung zu einer zusätzlichen Ammoniakemission bei der Güllelagerung und Ausbringung führt.

Aus dem Unterschied zwischen den beiden Varianten mit Gutschrift geht auch hervor, dass optimierte Lagerungs- und Ausbringungsverfahren für vergorene Gülle zu deutlichen Minderemissionen bei der Biogasnutzung beitragen. Doch wird allein über den zusätzlichen Gasertrag aus dem Gärrest die gasdichte Abdeckung des Güllelagers nur in seltenen Fällen finanzierbar sein [LfU Bayern 2004].

Gutschrift für Mineraldünger

Da bei der Vergärung der direkt pflanzenverfügbare Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) steigt, liegt der Gedanke nahe dem Biogasprozess eine Düngemittelgutschrift an N-Mineraldünger zu vergeben. Dagegen spricht, dass für die N-Ausnutzung die Verminderung der Ammoniakverluste wichtiger ist als die Art der Güllebehandlung, da die Höhe der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Emissionen je nach Ausbringungsart zwischen 10 und 60 % des Gesamtstickstoffs variiert [LfU Bayern 2004 und Döhler et al. 2001]. Quantitative Annahmen können nur das gesamte Management der Wirtschaftsdünger getroffen werden, doch fehlen Daten für die Ausbringungstechnik von Betrieben mit einer Biogasanlage.

Gegen eine Gutschrift spricht noch ein zweites Argument: Um eine Gutschrift erteilen zu können, müsste bekannt sein, ob die Betriebe durch die Vergärung der Gülle tatsächlich auf Mineraldünger verzichten. Für Biogasanlagen großer Tierhaltungsbetriebe darf dies allerdings bezweifelt werden, da hier oftmals der Entsorgungsgedanke vor dem Düngezweck steht. Für Anlagen mit zugekauften nachwachsenden Rohstoffen gilt im Prinzip das Gleiche.

Weitere Optimierung durch Aufbereitung von Gärresten

Durch Nährstoffimporte über Futtermittel und durch die schlecht kalkulierbare Düngewirkung von Gülle, können die Nährstoffkreisläufe insbesondere viehstarken Regionen überfrachtet werden. Technische Aufbereitungsverfahren (Feststoffseparierung mit Ammoniakstrippung und Phosphatfällung) können die Nährstoffe aus Gülle und Gärresten extrahiert werden und in gut handhabbare Dünger mit bekanntem Düngewert überführen. Man unterscheidet zwischen Teil- und Totalaufbereitungsverfahren. Teilaufbereitungsverfahren entfrachteten die Gülle zu einer nährstoffarmen Gülle (Feststoffseparierung), bei einer Totalaufbereitung wird die Gülle in Düngerstoffe und in gereinigtes Abwasser separiert [Weiland 2002].

Der Energieverbrauch für die Gärrestaufbereitung ist erheblich. Im Falle einer Totalaufbereitung wird die gesamte Energie des Biogas-BHKWs benötigt, im Falle der Teilaufbereitung könnten noch etwa 30 % des Stroms eingespeist werden, der Rest an Strom und Wärme wird für die Gärrestaufbereitung benötigt [Weiland 2002 und KTBL 1999].

Angesichts der hohen Energie- und Investitionsbedarfs stellen die Kosten für beide Verfahren eine bisher unüberwindliche Schwierigkeit dar (insbesondere für die Totalaufbereitung mit 15-30 €/Liter). Bei einer Gülleüberschussituation kommen Teilaufbe-

reitungsverfahren noch in Frage, sofern die preiswerteren Methoden der angepassten Fütterung bereits ausgeschöpft sind [KTBL 1999]. In welchem Maße in viehreichen Regionen im Anschluss an eine Güllevergärung Aufbereitungsverfahren für den Gülleüberschuss aus wirtschaftlicher Sicht noch infrage kommen, lässt sich nicht im Rahmen dieser Arbeit überschlagen. Aus diesem Grund wird die Gärrestaufbereitung hier nicht weiter betrachtet.

Trotz der Hemmnisse bei der Einführung der Gärrestaufbereitung, ist diese Option aus Umweltsicht aus zweierlei Gründen interessant: Sie könnte das Problem regionaler Nährstoffüberschüsse lösen und gleichzeitig einen Reststoff aufwerten. Damit könnte auch der Einsatz fossiler Ressourcen bei der Mineraldüngerherstellung reduziert werden. Insofern ruhen die Erwartungen auf weiteren Technologieverbesserungen. Laut Weiland [2002] sind zukünftig preiswertere und effiziente Vergärungsanlagen mit integrierter Aufbereitungstechnik möglich - nur stehen für diese Idee derzeit noch keine Daten für eine Ökobilanzierung zur Verfügung.

Gutschriften für vermiedene Nutzung fossiler Energien

Bei der Stromproduktion im KWK-Betrieb wird für die produzierte Wärme eine Gutschrift angerechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Nutzung alte Ölkessel ersetzt und die sonst üblichen modernen Gasheizungen verdrängt. Entsprechend bekommt jede Kilowattstunde Biogas-KWK-Wärme also die Aufwendungen und Emissionen für eine Kilowattstunde Wärme aus Erdgas als Bonus gutgeschrieben.

Die gesamten Aufwendungen des Biogasprozesses werden der Stromerzeugung angerechnet.