



Publikationen des Umweltbundesamtes

Monitoring zur Wirkung der Biomassenverordnung

Zwischenbericht

Forschungsprojekt im Auftrag des
Umweltbundesamtes
FuE-Vorhaben
Förderkennzeichen 204 41 133

Februar 2006

Franziska Müller-Langer
Sven Schneider
Janet Witt
Daniela Thrän

Zwischenbericht

Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (FKZ 204 41 133)

im Auftrag des

**Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
und des Umweltbundesamtes (UBA)**

vorgelegt vom:



Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig

Franziska Müller-Langer, Sven Schneider, Janet Witt, Daniela Thrän

in Kooperation mit:



Institut für ZukunftsEnergieSysteme gGmbH, Saarbrücken

Frank Baur, Marc Koch

2006

Geschäftsführer / Managing Director:

Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt

Handelsregister: Amtsgericht Leipzig HRB 8071

Sitz und Gerichtsstand Leipzig

Deutsche Kreditbank AG

(BLZ 120 30 000)

Kontonr.: 1364280

Stadt- und Kreissparkasse Leipzig

(BLZ 860 555 92)

Kontonr.: 1100564876



Zert.-Nr. 12100105

Auftraggeber: **Umweltbundesamt**
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau

Auftragnehmer: **Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE)**
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig

☎: +49 (0) 341 / 24 34 – 112

✉: info@ie-leipzig.de

in Kooperation mit: **Institut für ZukunftsEnergieSysteme gGmbH (IZES)**
Altenkesseler Straße 17
66115 Saarbrücken

Öko-Institut e.V.
Postfach 6226
79038 Freiburg

Leipzig, Februar 2006

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis | VIII |
| Abkürzungsverzeichnis..... | XI |
| 1 Anlass und Arbeitsmethodik | 1 |
| 2 Fortschreibung der Daten zur Stromerzeugung aus Biomasse | 3 |
| 2.1 Feste Bioenergieträger..... | 3 |
| 2.2 Gasförmige Bioenergieträger | 4 |
| 2.3 Flüssige Bioenergieträger..... | 6 |
| 2.4 Zusammenfassung | 7 |
| 3 Grundlegende Anforderungen an die energetische Verwertung von biogenen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen | 9 |
| 4 Einsatz von Altholz zur Stromerzeugung | 12 |
| 4.1 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes | 12 |
| 4.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen..... | 12 |
| 4.3 Markt- und Stoffstromerhebung | 14 |
| 4.3.1 Altholzaufkommen..... | 14 |
| 4.3.2 Altholznachfrage | 21 |
| 4.3.3 Außenhandel..... | 26 |
| 4.3.4 Altholzbilanz 2003 | 28 |
| 4.3.5 Marktakteure und Marktsituation..... | 29 |
| 4.4 Ökonomische Aspekte..... | 31 |
| 4.4.1 Preissituation | 31 |
| 4.4.2 Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung | 33 |
| 4.5 Abschätzung zukünftiger Entwicklungen..... | 43 |
| 4.5.1 Gesetzliche Randbedingungen | 43 |
| 4.5.2 Altholzaufkommen und -verfügbarkeit..... | 44 |
| 4.5.3 Altholzbedarf..... | 46 |
| 4.6 Zusammenfassung | 48 |
| 5 Einsatz tierischer Nebenprodukte zur Stromerzeugung | 51 |
| 5.1 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes | 51 |
| 5.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen..... | 52 |
| 5.3 Markt- und Stoffstromerhebung | 56 |
| 5.3.1 Aufkommen an Rohmaterial im Bundesgebiet | 56 |
| 5.3.2 Produkte, deren Nutzung- und Verwertungspfade..... | 60 |
| 5.3.3 Regionale und überregionale Stoffströme..... | 67 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.3.4 | Energetisches Potenzial tierischer Nebenprodukte | 71 |
| 5.4 | <i>Wirtschaftliche Aspekte</i> | 72 |
| 5.4.1 | Preissituation | 72 |
| 5.4.2 | Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung | 75 |
| 5.5 | <i>Kumulierter Primärenergieaufwand und treibhausgasrelevante Aspekte</i> | 79 |
| 5.5.1 | Methodik der Ökobilanzierung | 79 |
| 5.5.2 | Systemannahmen und Systemgrenzen | 80 |
| 5.5.3 | Ergebnisse | 83 |
| 5.6 | <i>Abschätzung zukünftiger Entwicklungen</i> | 85 |
| 5.7 | <i>Zusammenfassung</i> | 86 |
| 6 | Einsatz von Bioabfällen zur Stromerzeugung | 88 |
| 6.1 | <i>Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes</i> | 88 |
| 6.2 | <i>Gesetzliche Rahmenbedingungen</i> | 90 |
| 6.2.1 | Definitionen..... | 90 |
| 6.2.2 | Vergütung der Stromerzeugung aus Bioabfällen | 92 |
| 6.2.3 | Exkurs: Diskussionen zur Vergütung von Strom aus Bioabfällen als Bestandteil von Siedlungsmischabfällen..... | 93 |
| 6.2.4 | Abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen im Kontext der Bioabfallverwertung..... | 94 |
| 6.2.5 | Genehmigungsrechtliche und technische Aspekte der Bioabfallverwertung... | 96 |
| 6.3 | <i>Markt- und Stoffstromerhebung</i> | 98 |
| 6.3.1 | Bundesweites Aufkommen an Bioabfall..... | 98 |
| 6.3.2 | Länderspezifisches Aufkommen an Bioabfall | 103 |
| 6.3.3 | Anlagen zur Bioabfallverwertung | 106 |
| 6.3.4 | Überregionale Verwertungswege | 112 |
| 6.3.5 | Stoffliche Verwertung der erzeugten Produkte | 113 |
| 6.3.6 | Neue technische Ansätze..... | 115 |
| 6.3.7 | Ergebnisse der Befragung von Anlagenbetreibern..... | 117 |
| 6.3.8 | Stromerzeugung aus Bioabfall | 120 |
| 6.4 | <i>Ökonomische Aspekte</i> | 121 |
| 6.4.1 | Preissituation | 121 |
| 6.4.2 | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung..... | 124 |
| 6.5 | <i>Abschätzung zukünftiger Entwicklungen</i> | 130 |
| 6.6 | <i>Zusammenfassung</i> | 139 |
| 7 | Schlussfolgerungen und Ausblick | 142 |
| | Literatur- und Referenzverzeichnis | 144 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1-1: Übersicht der Projektinhalte | 1 |
| Abbildung 1-2: Generelle Herangehensweise..... | 2 |
| Abbildung 2-1: Anlagenbestand und installierte elektrische Leistung von Biomasse(heiz)kraftwerken (* vorläufiger Stand Dezember 2005) | 4 |
| Abbildung 2-2: Anlagenbestand und installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen (* vorläufiger Stand Dezember 2005)..... | 5 |
| Abbildung 2-3: Anlagenbestand und installierte elektrische Leistung der Pflanzenöl-BHKW (* vorläufiger Stand auf Basis der Datenerhebung im Februar 2006)..... | 6 |
| Abbildung 2-4: Anteile an der installierten elektrischen Leistung für die Jahre 2004 und 2005 (*vorläufiger Stand)..... | 8 |
| Abbildung 3-1: Klassifizierung biogener Reststoffe..... | 9 |
| Abbildung 3-2: Prinzipielle energetische Nutzungsoptionen biogener Reststoffe..... | 10 |
| Abbildung 4-1: Stoffstromdiagramm für Altholz auf Grundlage statistischer Erhebungen | 14 |
| Abbildung 4-2: Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallbereichen..... | 19 |
| Abbildung 4-3: Technisches Potenzial separat vorliegender Altholzmengen in den Bundesländern im Jahr 2003..... | 21 |
| Abbildung 4-4: Export und Importe von Holzabfällen im Zeitraum 2001 bis 2004..... | 27 |
| Abbildung 4-5: Altholzhandelnde Betriebe – Anzahl im Jahr 2001 und Marktvolumen 2001 und 2003 /57/..... | 30 |
| Abbildung 4-6: Entwicklung der Altholzpreise im Zeitraum 1998 bis 2005 (frei Verwerter) /77/..... | 32 |
| Abbildung 4-7: Spezifische Investitionskosten von im Zeitraum 2001 bis 2005 realisierten Biomasse(heiz)kraftwerken auf Altholzbasis | 34 |
| Abbildung 4-8: Sensitivitätsanalyse einzelner Faktoren auf den Stromgestehungspreis bei einem Biomasseheizkraftwerk 20 MW _{el} (Brennstoffpreis 20 €/t) | 38 |
| Abbildung 4-9: nominale Stromgestehungskosten für Altholz in Biomasse(heiz)kraftwerken in Abhängigkeit von der Anlagengröße; Annahme Brennstoffpreis: 0 bis 30 €/t für Altholz A I/II | 42 |
| Abbildung 4-10: Sensitivitätsbetrachtung einzelner Faktoren auf den Stromgestehungspreis bei einem Biomasse(heiz)kraftwerk 5 MW _{el} ; Annahme Brennstoffpreis: 20 €/t..... | 43 |
| Abbildung 5-1: Rechtliche Rahmenbedingungen für die Einordnung, Verarbeitung und Verwertung tierischer Nebenprodukte..... | 52 |
| Abbildung 5-2: Entwicklung von Schlachtmengen und Fleischverbrauch sowie dem Rohmaterialaufkommen von 1999 bis 2003 | 57 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 5-3: Verteilung des verarbeiteten Rohmaterials von 1999 bis 2004 /6/ bis /9/ | 59 |
| Abbildung 5-4: Mögliche Verfahrensprozesse bei der Tierkörperbeseitigung (für die Sterilisation zu Fleischbrei kommen nur Rohmaterialien der Kat. 3 in Frage) /10/, /13/..... | 61 |
| Abbildung 5-5: Verteilung der in der hergestellten tierischen Nebenprodukte von 1999 bis 2004..... | 62 |
| Abbildung 5-6: Verteilung der Nutzung und Verwertung von TNP zwischen 2001 bis 2004 /6/ ff. | 65 |
| Abbildung 5-7: Entwicklung der stofflichen Nutzung und energetischen Verwertung von TNP zwischen 2000 und 2004 (* exklusive Flüssigfutter)..... | 66 |
| Abbildung 5-8: Anteile der Bundesländer an der Gesamtschlachtmenge 2003 (Anzahl der TKV) /32/..... | 67 |
| Abbildung 5-9: Kartographischer Überblick über TKV in Deutschland /11/ | 68 |
| Abbildung 5-10: Übersicht zu Anlagen für die thermische Beseitigung und die energetische Verwertung durch Mitverbrennung in Deutschland | 69 |
| Abbildung 5-11: Energieträgerpotenzial tierischer Nebenprodukte..... | 72 |
| Abbildung 5-12: nominale Stromgestehungskosten für TNP in Biogasanlagen in Abhängigkeit von der Anlagengröße (Randbedingung: Erlös für TNP von 30 € _{t_{FM}})..... | 78 |
| Abbildung 5-13: Sensitivitätsanalyse für 150 kW _{el} -Biogasanlage (Randbedingung: Erlös für TNP von 30 € _{t_{FM}} bei Kosubstratanteil von 30%) | 79 |
| Abbildung 5-14: Verbrauch erschöpflicher Energieressourcen (KEA) je Tonne Rohmaterial..... | 83 |
| Abbildung 5-15: Treibhausgasemissionen je Tonne Rohmaterial | 84 |
| Abbildung 6-1: Störstoffbelastungen im Bioabfall – Anteil der befragten Verwaltungseinheiten (Stand 2002)..... | 102 |
| Abbildung 6-2: Absolute Bioabfallmengen für 2001 bis 2003 und Restmüllpotenzial für 2003 auf Länderebene | 104 |
| Abbildung 6-3: Einwohnerspezifische Bioabfallmengen für 2001 bis 2003 und Restmüllpotenzial für 2003 auf Länderebene | 105 |
| Abbildung 6-4: Häufigkeit der Vergärungsanlagen nach Durchsatzkapazität, Input und Verfahren (n=83/96) | 109 |
| Abbildung 6-5: Häufigkeit der Kompostierungsanlagen nach Durchsatzkapazität (n=421/831) | 110 |
| Abbildung 6-6: Durchsatzkapazitäten und Mengenaufkommen für Bio- und Grünabfall nach Bundesländern und Behandlungsverfahren (aerob/anaerob) | 110 |
| Abbildung 6-7: Anaerobe Behandlungskapazitäten für Bioabfall nach Bundesländer | 111 |
| Abbildung 6-8: Geografische Verteilung der Vergärungsanlagen in Deutschland | 112 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 6-9: Anteiliges Aufkommen aus anderen Bundesländern an der insgesamt im jeweiligen Bundesland biologisch verwerteten Abfallmenge (2003)..... | 113 |
| Abbildung 6-10: Vermarktungswege von RAL-gütesicherten Komposten in 2002 (BGK) | 114 |
| Abbildung 6-11: Spezifische Investitionen bei Bioabfall-Vergärungsanlagen in Abhängigkeit vom Durchsatz (Vergleich spez. Invest Vergärungsanlagen; Datenbasis: FB & BGK Anlagen; bereinigt)..... | 125 |
| Abbildung 6-12: Reale Stromgestehungskosten und Vergütungen in Abhängigkeit von der Anlagengröße (Vergütungsbasis: 2006, Bioabfallerlös: 60 €/Mg)..... | 129 |
| Abbildung 6-13: Sensitivitätsanalyse für 780 kW _{el} -Biogasanlage (Basis: inkl .Wärmenutzung; Bioabfallerlös: 60 €/Mg)..... | 130 |
| Abbildung 6-14: Mögliche Stoffstromverteilung in der Kompostieranlage bei einer Abtrennung von energetisch nutzbaren Teilströmen /155/..... | 138 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|---------------|--|----|
| Tabelle 2-1: | Übersicht Biomasseanlagen im Jahr 2005 | 7 |
| Tabelle 4-1: | Aufkommen an gemischt vorliegenden Abfällen mit (Alt)holzanteil im Jahr 2003 /52/ | 15 |
| Tabelle 4-2: | Altholzanfall aus Bauabfällen im Jahr 2003 | 17 |
| Tabelle 4-3: | Aufkommen an Holzabfällen in der Holzbearbeitung und der Herstellung von Platten, Möbeln, Zellstoffen, Papier und Pappe | 18 |
| Tabelle 4-4: | Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallbereichen | 19 |
| Tabelle 4-5: | Bundesweites Aufkommen an separat vorliegendem Altholz in den verschiedenen Anfallsbereichen und grobe Abschätzung der Anteile der einzelnen Altholzkategorien | 19 |
| Tabelle 4-6: | Bundesweites Aufkommen an separat vorliegendem Altholz in den verschiedenen Anfallsbereichen und Altholzkategorien im Jahr 2003.... | 20 |
| Tabelle 4-7: | Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallsbereichen und Altholzkategorien im Jahr 2003 im Vergleich zu /49/ | 20 |
| Tabelle 4-8: | Einsatzmöglichkeiten der einzelnen Altholzkategorien in unterschiedlichen Feuerungsanlagenengrößen (nach /57/)... .. | 23 |
| Tabelle 4-9: | Holz- und Altholz in Feuerungsanlagen im Jahr 2003 | 24 |
| Tabelle 4-10: | Anlieferungsmengen in Abfallverbrennungsanlagen im Zeitraum 1998 bis 2003 /63/ | 25 |
| Tabelle 4-11: | Altholzeinsatz in Anlagen der Zementindustrie im Zeitraum 1998 bis 2004 /64/ | 26 |
| Tabelle 4-12: | Exporte, Importe und Außenhandelssaldo von Holzabfällen im Zeitraum 2001 bis 2004 /66/ | 27 |
| Tabelle 4-13: | Altholzbilanz für Deutschland für das Jahr 2003 | 29 |
| Tabelle 4-14: | Verwerter-Ankaufspreise für verschiedene Altholzsortimente und Regionen /72/ ff. | 33 |
| Tabelle 4-15: | Vergütung nach EEG für Strom auf Basis von Hölzer der Kategorie A I/II (Klammerwerte A III und A IV-Hölzer) in Abhängigkeit vom Inbetriebnahmejahr | 36 |
| Tabelle 4-16: | Wesentliche Randbedingungen und Stromgestehungskosten für Althölzer in bestehenden Biomasse(heiz)kraftwerken bei Wärmeauskopplung (Bezugsjahr 2002/2003)..... | 37 |
| Tabelle 4-17: | Randbedingungen und Stromgestehungskosten für Althölzer A I/II in Biomasse(heiz)kraftwerken bei Wärmeauskopplung (Bezugsjahr 2005)..... | 41 |
| Tabelle 4-18: | Bundesweites Aufkommen an Altholz insgesamt für das Jahr 2003 und Tendenz bis 2010 in den verschiedenen Anfallsbereichen | 45 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| Tabelle 4-19: | Zubau von Altholzkraftwerken im Zeitraum 2004 bis 2010 | 47 |
| Tabelle 4-20: | Altholzkraftwerke in Deutschland in den Jahren 2005 und 2010 im Vergleich (*vorläufiger Stand) | 48 |
| Tabelle 5-1: | Kategorisierung der tierischen Rohmaterialien nach Verordnung (EG) 1774/2002 /11/, /13/, /14/ (Art. 4 ff.) | 54 |
| Tabelle 5-2: | Entwicklung der Versorgung mit Fleisch nach Fleischarten sowie anfallendes Rohmaterial von 1999 bis 2003 /11/, /27/ | 57 |
| Tabelle 5-3: | Überregionale Stoffströme am Beispiel Schleswig-Holsteins im Hinblick auf Produktion, Import und Verwertung von Tiermehl /41/ | 70 |
| Tabelle 5-4: | Energieträgerpotenzial tierischer Nebenprodukte..... | 71 |
| Tabelle 5-5: | Preisniveaus für energetische Verwertung von TNP | 74 |
| Tabelle 5-6: | Randbedingungen und Stromgestehungskosten für TNP-Biogasanlagen (Bezugsjahr 2005) | 77 |
| Tabelle 5-7: | Energieaufwendung und Produktzusammensetzung je Tonne Rohmaterial bei der Verwendung unterschiedlicher Energieträger zur Produktion von Tiermehl- und -fett | 82 |
| Tabelle 6-1: | Bioabfälle nach Anhang 1 Nr. 1 BioabfV (Auszug)..... | 90 |
| Tabelle 6-2: | Abfallaufkommen nach Jahren und Datenquellen | 99 |
| Tabelle 6-3: | Absolutes und spezifisches Bioabfallaufkommen in Deutschland (2003) | 99 |
| Tabelle 6-4: | Theoretische Potenziale an Bioabfällen in Deutschland (2003) | 101 |
| Tabelle 6-5: | Zusammensetzung und Eigenschaften von Grünschnitt aus Garten- und Parkanlagen (Mittelwerte nach Fischer 1988) | 103 |
| Tabelle 6-6: | Entwicklung der Behandlungskapazitäten für Bio- und Grünabfälle | 106 |
| Tabelle 6-7: | Zuordnung von Mengenströmen zu Behandlungsanlagen in Deutschland für 2002 (StBA 2005) | 107 |
| Tabelle 6-8: | Entwicklung der den Vergärungsanlagen zugewiesenen Mengen..... | 108 |
| Tabelle 6-9: | Substrate der Bioabfallbehandlungsanlagen | 118 |
| Tabelle 6-10: | Energieerzeugung | 119 |
| Tabelle 6-11: | Gärrestnutzung | 119 |
| Tabelle 6-12: | Stromerzeugung aus der Behandlung der kommunalen Bioabfälle..... | 121 |
| Tabelle 6-13: | Logistik- und Behandlungskosten der getrennten Rest- und Bioabfallerfassung gegenüber einer ausschließlichen Hausmüllfassung in unterschiedlichen Entsorgungsgebieten (INFA, 2004; teilw. verändert) | 122 |
| Tabelle 6-14: | Spezifische Entsorgungskosten für Restmüll und Bioabfall im kreisfreien Städten /130/ | 123 |
| Tabelle 6-15: | Investitionen nach unterschiedlichen Leistungsklassen (bezogen auf Input)..... | 125 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| Tabelle 6-16: | Personalkosten | 127 |
| Tabelle 6-17: | Kostenansätze und Randbedingungen für die Modellanlagen zur Stromerzeugung aus Bioabfällen zur Berechnung der Stromgestehungskosten..... | 128 |
| Tabelle 6-18: | Restabfall-Behandlungskapazitäten 2005, /134/..... | 131 |
| Tabelle 6-19: | Brennstoffeigenschaften von zerkleinertem Grünabfall, nach /150/ | 138 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------|---|
| AbfAbfV | Abfallablagerungsverordnung |
| AT | Anlagenteil/technische Ausrüstung |
| AVV | Abfallverzeichnis-Verordnung |
| BA | Bioabfall |
| BBodSchV | Bundes-Bodenschutz- und Altlasten-Verordnung |
| BDE | Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft |
| BGK | Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. |
| BHKW | Blockheizkraftwerk |
| BImSchV | Bundes-Immissionsschutzverordnung |
| BioabfV | Bioabfallverordnung |
| BiomasseV | Biomasseverordnung |
| BMELV | Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz |
| BMU | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit |
| BT | Bauteil |
| EAV | Europäisches Abfallverzeichnis |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| EW | Einwohner |
| FB | Fragebogen |
| FS | Frischsubstrat |
| FWL | Feuerungswärmeleistung |
| GHDÜ | Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher |
| ISKA | Integriertes Stoff- und kundenorientiertes Abfallwirtschaftskonzept |
| IVU | Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung |
| KfW | Kreditbank für Wiederaufbau |
| KMU | kleine und mittlere Unternehmen |
| KrW-/AbfG | Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz |
| KTBL | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft |
| KWK | Kraft-Wärme-Kopplung |
| LAGA | Länderarbeitsgemeinschaft Abfall |
| MBA | Mechanisch-biologische Abfallbehandlung |
| MDF | Mitteldichte Faserplatte |
| MVA | Müllverbrennungsanlage |
| NawaRo | Nachwachsende Rohstoffe |
| ORC | Organic-Rankine-Cycle |
| Pöl | Pflanzenöl |
| RAL | Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. |
| RM, HM | Restmüll, Hausmüll |
| SEBA | SEBA Hydrometrie GmbH |
| StBA | Statistisches Bundesamt |
| TA | Technische Anleitung |
| TASI | Technische Anleitung Siedlungsabfall |
| UBA | Umweltbundesamt |
| VKS | Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e. V. |
| VKU | Verband Kommunaler Unternehmen e.V. |

1 Anlass und Arbeitsmethodik

Erneuerbare Energien und insbesondere Biomasse gelten als Hoffnungsträger, wenn es um eine zukünftig umwelt- und klimaverträgliche Energieversorgung geht. Deshalb wird ihr verstärkter Einsatz auch in vielen nationalen Zielvorgaben gefordert, z. B. soll der Anteil der erneuerbaren Energien bei der Primärenergie von 2,1 % im Jahr 2000 auf 4,2 % in 2010 verdoppelt und entsprechend der Anteil an der Stromproduktion von 6,25 % in 2000 auf 12,5 % in 2010 erhöht werden. Ein wesentliches Instrument zur Umsetzung dieser Zielvorgaben ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das für ausschließlich aus regenerativen Energien erzeugten Strom eine Einspeisevergütung für die Dauer von 20 Jahren garantiert /1/. Für den Bereich der energetischen Biomassenutzung wird das EEG durch die Biomasseverordnung (BiomasseV) ergänzt, die regelt, welche Stoffe und technischen Verfahren im Sinne des EEG anzuerkennen und welche Umweltauflagen einzuhalten sind /2/. Beide Instrumente sind umfassend innovativ und erfordern daher eine begleitende Auswertung bezüglich der aus umwelt-, energie- und agrarpolitischer Sicht gewünschten Steuerungswirkung.

Vor diesem Hintergrund wurde das Institut für Energetik und Umwelt (IE) vom Umweltbundsamt (UBA) als Projektträger des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) mit der wissenschaftlichen Begleitung der Biomasse-Verordnung hinsichtlich ihrer Lenkungswirkung im Bereich der Stromerzeugung aus biogenen Brennstoffen beauftragt. Das Projekt startete im Oktober 2004, hat eine Laufzeit von 26 Monaten und endet am 30. November 2006. Die thematischen Schwerpunkte (Arbeitspakete) dieses Monitoringprojektes sind der nachstehenden Grafik (Abbildung 1-1) zu entnehmen.

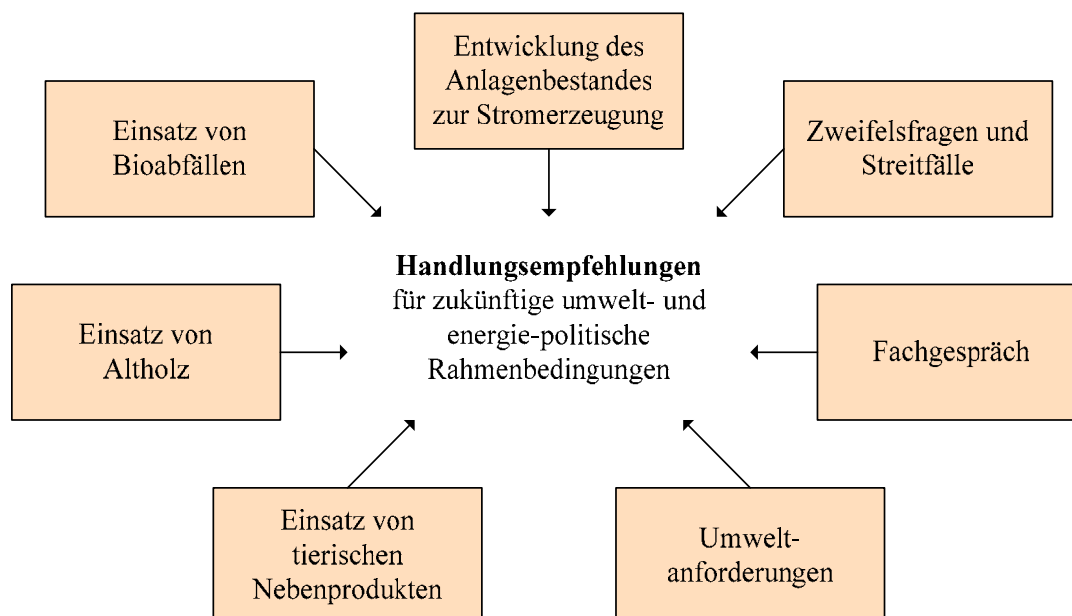


Abbildung 1-1: Übersicht der Projektinhalte

Für die Ableitung von Entwicklungstendenzen im Bereich der Stromerzeugung aus Biomasse und zur Einschätzung der Wirksamkeit der BiomasseV wird auf die in Abbildung 1-2 dargestellte generelle Arbeitsmethodik zurückgegriffen. Sie entspricht im wesentlichen der bewährten Herangehensweise aus dem vorangegangenen Forschungsprojekt „Monitoring zur Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) aus Umweltsicht“ /5/. Diese ermöglicht es, auf zum Teil bereits vorhandene Datengrundlagen und Erfahrungen zurückzugreifen sowie selbige auf Basis von Primär- und Sekundärdatenerhebungen zu aktualisieren und zu erweitern.

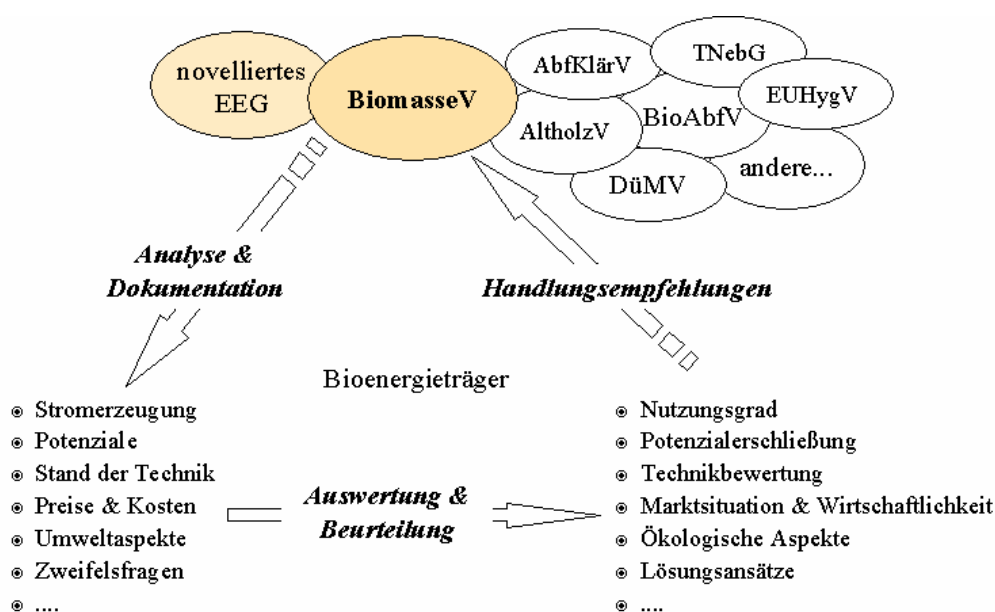


Abbildung 1-2: Generelle Herangehensweise

Dabei wird betrachtet, welche Anlagenkapazitäten errichtet worden und werden und welche Potentiale zur Verfügung stehen. Zudem ist die Bewertung der Biomassenutzung hinsichtlich wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte sowie die Auswirkungen angrenzender Gesetze respektive Verordnungen auf die energetische Biomassenutzung zur Stromerzeugung.

Inhalte dieses Zwischenberichtes sind neben einem Überblick zum aktuellen *Bestand der Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse* (Kapitel 2) sowie den *grundlegenden Anforderungen an die energetische Verwertung biogener Reststoffe und Nebenprodukte* (Kapitel 3) die Themenkomplexe zum Einsatz selbiger auf der Basis von *Altholz* (Kapitel 4), von *tierischen Nebenprodukten* (Kapitel 5) sowie *Bioabfällen* (Kapitel 6) zur Stromerzeugung.

2 Fortschreibung der Daten zur Stromerzeugung aus Biomasse

Die mit der Novellierung des EEG im Jahr 2004 angepassten Mindestvergütungssätze und zusätzlichen Boni für den Einsatz (i) naturbelassener bzw. nachwachsender Rohstoffe (NawaRo), (ii) von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) sowie (iii) innovativer Technologien bilden die Grundlage für einen weiteren starken Ausbau der Stromerzeugung bzw. der gekoppelten Wärme- und Strombereitstellung auf Biomassebasis in Deutschland. Für die Dokumentation dieser dynamischen Entwicklung wird der Stand der Stromerzeugung aus Biomasse auf Basis bereits vorliegender Daten zu Anlagenanzahl, installierter elektrischer Leistung, Stromerzeugung sowie Brennstoff- bzw. Substrateinsatz kontinuierlich fortgeschrieben.

Grundlage für den Stand der energetischen Nutzung fester, gasförmiger und flüssiger Bioenergieträger ist neben der Befragung von Planern und Anlagenbetreibern vorrangig die Auswertung frei verfügbarer Informationen (u. a. Fachpresse, Internet). Alle Daten sind in einer Datenbank archiviert.

Nachfolgend wird Überblick zum vorläufigen Stand der Stromerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen, Biogasanlagen und Pflanzenöl für das Jahr 2005 gegeben. Für eine weitaus detailliertere Übersicht sei auf den Zwischenbericht des parallel laufenden Forschungsvorhabens „Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse“ verwiesen /164/.

2.1 Feste Bioenergieträger

Der derzeit bekannte Anlagenbestand sowie die gesamte installierte elektrische Leistung sind in Abbildung 2-1 dargestellt. Demnach wurden zum Jahresende 2005 etwa 140 Biomasse-(heiz)kraftwerke mit einer Gesamtleistung von etwa 1 GW_{el} betrieben. So sind zu jeweils etwa 44 % der Anlagen in den Leistungsbereichen kleiner und größer 5 MW_{el} in Betrieb. Zu letzterem zählen vier Papierfabriken (d. h. Stendal, Blankenstein, Schwedt, Schongau), die nicht den Regelungen des EEG unterliegen und anteilig eine installierte elektrische Leistung von etwa 160 MW_{el} aufweisen. Gegenwärtig geht man bei etwa 60 bis 80 Biomasse-(heiz)kraftwerken von Planungs- oder Bauaktivitäten aus; 25 dieser Anlagen befinden sich im Bau, so dass diese großteils im Jahre 2006 in Betrieb gehen werden.

Daraus wird deutlich, dass sich seit dem Jahr 2000 – im Wesentlichen als Folge der Anreizwirkungen des EEG – die Anzahl der Biomasseverstromungsanlagen auf Festbrennstoffbasis nahezu verdreifachte. Die gesamte installierte elektrische Leistung hat sich in diesem Zeitraum mehr als vervierfacht. Allein in den vergangenen zwei Jahren wurden etwa 45 neue Biomasse-(heiz)kraftwerke mit einer installierten Leistung von gesamt 482 MW_{el} in Betrieb genommen.

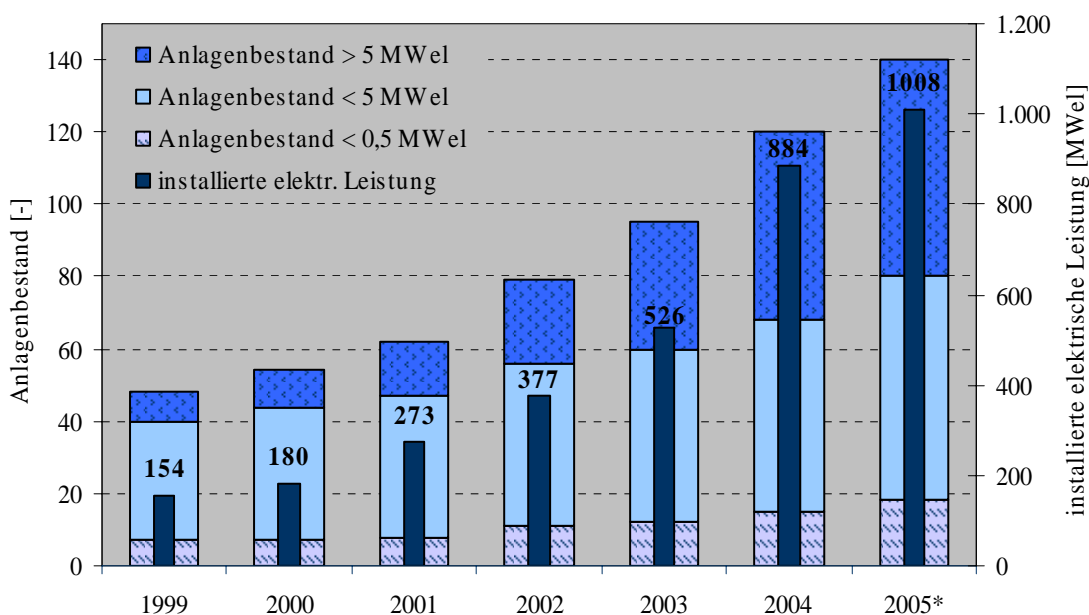


Abbildung 2-1: Anlagenbestand und installierte elektrische Leistung von Biomasse(heiz)kraftwerken (* vorläufiger Stand Dezember 2005)

Die potenzielle Stromerzeugung für EEG-Biomasse(heiz)kraftwerke kann, auf Basis mittlerer Volllaststunden, für das Jahr 2005 mit etwa 5,8 TWh_{el}/a brutto abgeschätzt werden¹; inklusiver der genannten Papierfabriken wären dies etwa 7 TWh_{el}/a.

Die potenzielle Stromerzeugung 2005 ist mit einem Brennstoffeinsatz in einer Größenordnung von etwa 105 PJ/a verbunden; exklusive der Berücksichtigung von Schwarzlauge. Der größte Anteil ist davon Altholz. Zusätzlich wird Schwarzlauge in einem größeren Umfang als Brennstoff verwendet. Stroh und andere halmgutartige Brennstoffe finden bisher wegen der ungünstigen Brennstoffeigenschaften kaum Verwendung.

2.2 Gasförmige Bioenergieträger

Im Bereich der Neuinstallation und Inbetriebnahmen von Biogasanlagen zeigen sich die durch die verbesserte Vergütungssituation infolge der EEG-Novellierung im Jahr 2004 positiven Effekte sehr deutlich. War seit 1999 ein weitgehend kontinuierlicher Anstieg der installierten Anlagen zu verzeichnen, hat sich deren Anzahl bis Ende 2005 auf etwa 2.700 Anlagen mehr als verdreifacht. Insgesamt gingen 2005 mehr als 600 Anlagen vorwiegend im landwirtschaftlichen Bereich in Betrieb. Noch deutlicher zeigen sich die Effekte bei der installierten elektrischen Leistung. Ende 2005 betrug diese etwa 665 MW_{el}, was einen Zuwachs von mehr als 170 % gegenüber dem Vorjahr entspricht (Abbildung 2-3).

¹ Zur Berechnung der Stromerzeugung wurden folgende mittlere Volllaststunden angenommen: Anlagen im kleinen Leistungsbereich ($\leq 0,5$ MW_{el}): 2.500 h/a; Anlagen im mittleren Leistungsbereich (≤ 5 MW_{el}): 4.000 h/a; Anlagen im großen Leistungsbereich (> 5 MW_{el}): 7.500 h/a.

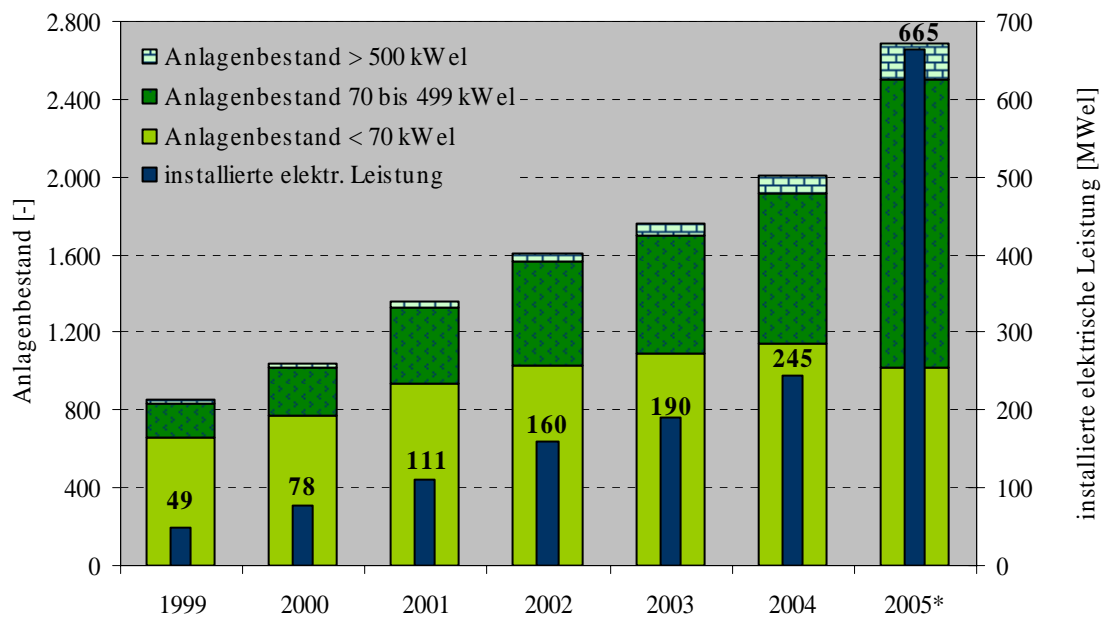


Abbildung 2-2: Anlagenbestand und installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen
(* vorläufiger Stand Dezember 2005)

Aufgrund des merklichen Trends hin zu größeren Biogasanlagen (z. B. durch Neubau oder Erweiterung bestehender Anlagen) verschiebt sich die durchschnittliche installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen deutlich nach oben. Betrug die durchschnittlich installierte elektrische Leistung je Anlage 1999 noch etwa 60 kW_{el}, waren es 2004 bereits etwa 125 kW_{el} und 2005 sogar rund 250 kW_{el}. Für den kleinen Leistungsbereich (< 70 kW_{el}) ist davon auszugehen, dass der Bestand aufgrund von zahlreichen Anlagenerweiterungen eher rückläufig ist.

Die potenzielle jährliche Stromerzeugung aus Biogasanlagen kann – bezogen auf die installierte elektrische Leistung – mit einer mittleren Volllaststundenzahl von 6.500 h/a auf ca. 4.323 GWh_{el}/a beziffert werden.

Hinsichtlich des Substrateinsatzes zur Biogaserzeugung stellen tierische Exkremente (d. h. Rinder- und Schweinegülle, Fest- und Geflügelmist) mengenmäßig den größten Anteil dar. Selbige werden insbesondere als Grundsubstrate bei der Kofermentation zusammen mit biogenen Reststoffen (z. B. aus der Landwirtschaft und der Industrie sowie Bioabfälle) und NawaRo (zumeist Mais, aber auch Grassilage und Getreide in Form von Körnern oder Ganzpflanzensilage) eingesetzt. Für das Jahr 2005 entspricht das erzeugte Biogas² zur Stromerzeugung dabei einem potenziellen Brennstoffeinsatz von etwa 47 PJ/a; verglichen mit 2004 etwa eine Verdreifachung.

² Unter Annahme eines Energieinhaltes von etwa 6 kWh/m³ Biogas bei einem durchschnittlichen Methangehalt von 57,5 Vol.%.

Die Tendenz der Betreiber, ihre Anlagen auf NawaRo umzustellen, ist eine spürbare Auswirkung des EEG; mehr als 1/3 der Anlagenbetreiber haben bereits auf den Einsatz von NawaRo umgestellt oder planen dies.

2.3 Flüssige Bioenergieträger

Die Preisentwicklung fossiler Kraft-/Treibstoffe und verbesserte Vergütungssituation des novellierten EEG haben zu einem verstärkten Interesse an der Strom- und Wärmegewinnung aus pflanzlichen Ölen geführt. Ging man Anfang des Jahres 2004 von einem Bestand an Pflanzenöl-BHKW von etwa 150 Anlagen aus, hat sich die Anzahl der Anlagen deutlich erhöht. Der aktuell installierte Anlagenbestand konnte mit etwa 670 Pflanzenöl-BHKW ermittelt werden; die installierte elektrische Gesamtleistung beträgt ca. 60 MW_{el} (Abbildung 2-3).

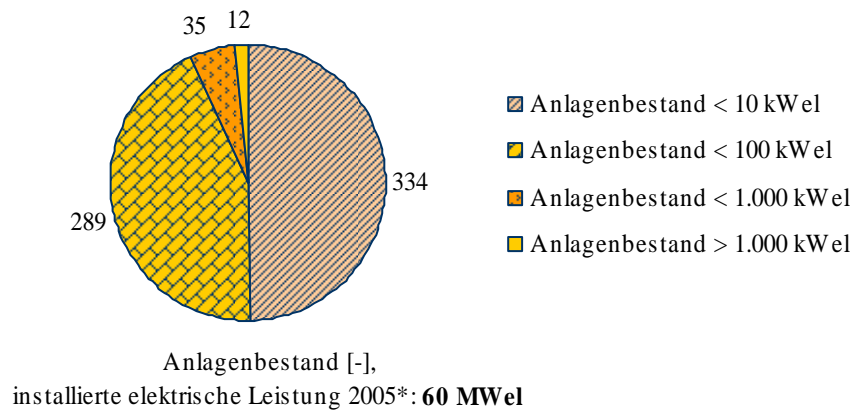


Abbildung 2-3: Anlagenbestand und installierte elektrische Leistung der Pflanzenöl-BHKW
(* vorläufiger Stand auf Basis der Datenerhebung im Februar 2006)

Etwa die Hälfte der erfassten Anlagen sind im Leistungsbereich kleiner 10 kW_{el} anzusiedeln. Zusammen mit den Anlagen bis 100 kW_{el} bilden sie einen Anteil von über 90 %. Die durchschnittliche installierte Anlagenleistung beträgt ca. 88 kW_{el}. Dabei werden Kleinanlagen (insbesondere von privaten Betreibern im Leistungsbereich bis 30 bis 50 kW_{el}) vorrangig wärmegeführt. In Industrie- und Landwirtschaftsbetrieben werden Anlagen bis 500 kW_{el} zur Bereitstellung von Heiz- und Prozesswärme (z. B. Trocknung) installiert. Im größeren Leistungsbereich (> 500 kW_{el}) erfolgt der Anlagenbetrieb überwiegend stromgeführt bis hin zur Nutzung der BHKW-Abwärme zur weiteren Verstromung. Gerade Stromversorger und Industrieunternehmen haben ein großes Interesse an Anlagen im Leistungsbereich von größer 1.000 kW_{el}.

Unter Annahme mittlerer Volllaststunden³ kann die jährliche potenzielle Stromerzeugung aus pflanzenölbasierten BHKW mit ca. 431 GWh_{el}/a abgeschätzt werden.

Während bei privaten BHKW-Betreibern im kleinen Leistungsbereich (bis etwa 50 kW_{el}) zumeist kaltgepresstes Pflanzenöl eingesetzt wird, finden im mittleren und größeren Leistungsbereich (300 bis 5.000 kW_{el}) aus wirtschaftlichen Gründen raffinierte Soja- und Palmöle Verwendung. Flüssigtreibstoffe wie Biodiesel oder Bioethanol finden keinen Einsatz. In Summe entspricht dies einem Brennstoffeinsatz an Pflanzenölen von etwa 3,4 PJ/a bzw. 0,91 Mio. t.

2.4 Zusammenfassung

Ein zusammenfassender Überblick zum vorläufigen Stand für das Jahr 2005 der Biomasseanlagen zur Stromerzeugung in Deutschland gibt Tabelle 2-1.

Tabelle 2-1: Übersicht Biomasseanlagen im Jahr 2005

| | Anlagenanzahl ^a [-] | Installierte elek. Leistung ^a [MW _{el}] | Strom- erzeugung ^{a, c} [TWh _{el} /a] | Brennstoff- einsatz ^{b, c} [PJ/a] |
|--------------------------|-----------------------------------|--|---|--|
| Biomasse(heiz)kraftwerke | 140 | 1.008 | 5,8 | 105,1 |
| Biogasanlagen | 2.690 | 665 | 4,3 | 46,7 |
| Pflanzenöl-BHKW | 670 | 60 | 0,4 | 3,4 |
| Gesamt | 3.500 | 1.733 | 10,5 | 155,2 |

^a inklusive Papierfabriken (4 Anlagen mit 158 MW_{el}, 1,19 TWh_{el}/a)

^b bei Biomasse(heiz)kraftwerken exklusive Papierfabriken (Einsatz von Schwarzlauge)

^c potenziell auf Basis mittlerer Jahresvolllaststunden, ohne Berücksichtigung zu welchem Zeitpunkt Neuanlagen in Betrieb gingen

Die Stromerzeugung aus Biomasse hat sich seit Inkrafttreten des EEG im Jahr 2000 mehr als verfünffacht. Insgesamt sind derzeit etwa 3.500 Biomasseanlagen (etwa 44 % mehr als 2004) mit einer installierten elektrischen Leistung von ca. 1.500 MW_{el} in Betrieb, wobei sich der Anteil zugunsten der Biogasanlagen und Pflanzenöl-BHKW verschoben hat (Abbildung 2-4).

³ Zur Berechnung der Stromerzeugung wurden folgende mittlere Volllaststunden angenommen: Anlagen bis 10 kW_{el}: 2.500 h/a; bis 100 kW_{el}: 5.000 h/a; bis 1.000 kW_{el}: 7.000 h/a, größer 1.000 kW_{el}: 8.000 h/a

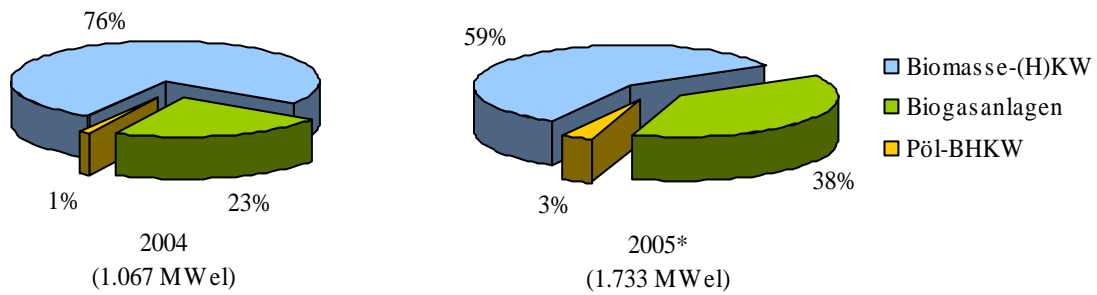


Abbildung 2-4: Anteile an der installierten elektrischen Leistung für die Jahre 2004 und 2005 (*vorläufiger Stand)

Heute werden potenziell etwa 11 TWh_{el}/a biogener Strom erzeugt, was einem Anteil von etwa 2 % der gesamten Nettostromerzeugung in Deutschland (2004: 529 TWh_{el}) entspricht; bezogen auf die Erneuerbaren Energien beträgt dieser Anteil ca. 20 % /163/.

3 Grundlegende Anforderungen an die energetische Verwertung von biogenen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen

Die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse (vgl. Kapitel 2) hat insbesondere für Biomasseheizkraftwerke und Biogasanlagen gezeigt, dass ein Großteil des erzeugten biogenen Stromes aus biogenen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen stammt. Diese Einsatzstoffe (sog. biogene Reststoffe) fallen in der Landwirtschaft, der Holz- und Lebensmittelverarbeitung sowie am Ende der Nutzungskette an und können kategorisiert werden nach holz- und halmgutartigen Festbrennstoffen sowie sonstiger Biomasse (Abbildung 3-1).

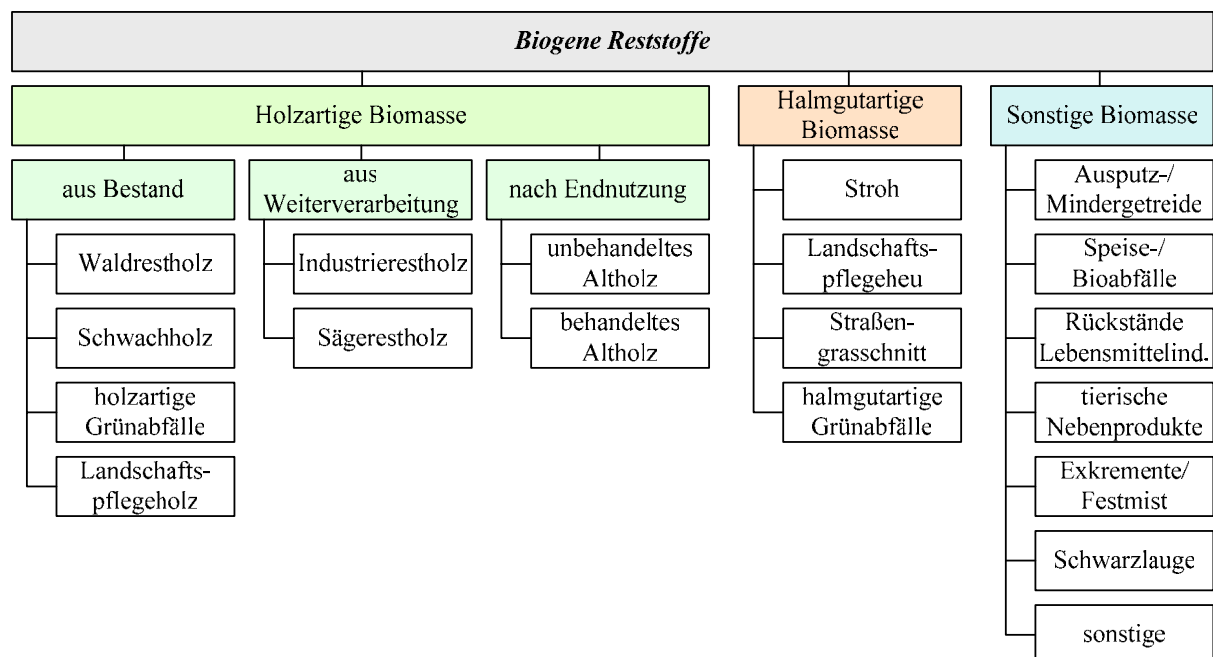


Abbildung 3-1: Klassifizierung biogener Reststoffe

Für den Einsatz dieser biogenen Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle zur energetischen Verwertung in Bioenergieanlagen sind neben den **technologischen Anforderungen**, die eine techno-ökonomisch effiziente Umsetzung in Anlagen zur Strom- und Wärmebereitstellung erlauben, ebenso die einzuhaltenden **rechtlichen Anforderungen** entscheidend.

Unter Berücksichtigung technologiespezifischer Anforderungen an den biogenen Energieträger (z. B. chemische Elementarzusammensetzung, brennstoffrelevante und physikalisch-mechanische Eigenschaften) können biogene Reststoffe prinzipiell über die thermo-chemischen Konversion (z. B. Vergasung und Verbrennung), die bio-chemischen Konversion (z. B. Biogasanlagen) oder die physikalisch-chemischen Konversion (z. B. Umesterung) energetisch genutzt werden (Abbildung 3-2).

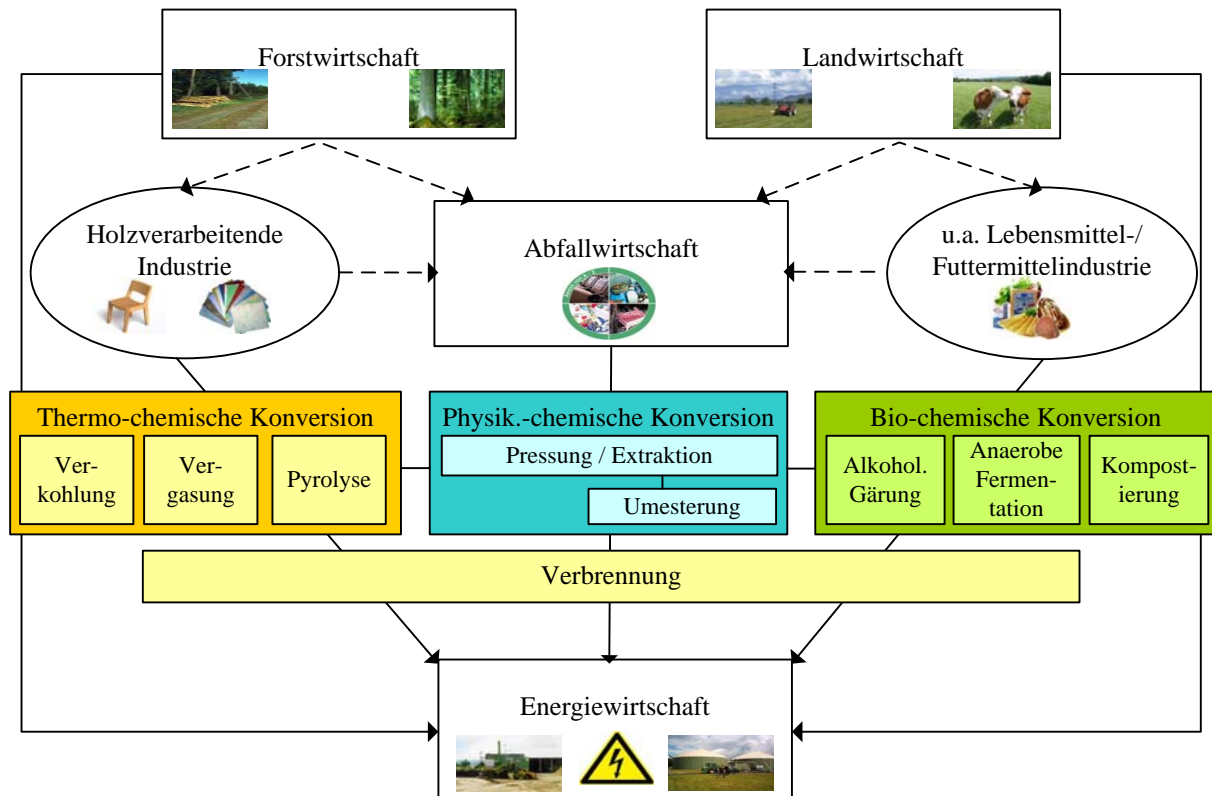


Abbildung 3-2: Prinzipielle energetische Nutzungsoptionen biogener Reststoffe

Für die Erzeugung biogenen Stromes sowie zur Wärme-Kraft-Kopplung kommen dabei gegenwärtig maßgeblich die Verbrennung von Festbrennstoffen sowie die Substratvergärung in Biogasanlagen zum Einsatz. Dabei ist in den vergangenen Jahren die Entwicklung von Technologien in erster Linie im Hinblick auf die Verbesserung der Effizienz der Biomassekonversion zur Strom- und Wärmebereitstellung sowie zur Verringerung treibhausrelevanter Gase vorangetrieben worden. Gleiches gilt für die Einhaltung der Umwelanforderungen.

Bestimmend für die Realisierung der energetischen Reststoffverwertung sind dabei die aktuellen politischen, energiewirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen. Dies inkludiert nicht nur die Zielvorgaben bezüglich des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in Deutschland, sondern insbesondere das EEG und das Marktanreizprogramm sowie u. a. die BiomasseV zur Regelung des Anwendungsbereiches des EEG⁴. Darüber hinaus besteht nicht zuletzt seit Inkrafttreten von Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG), Bioabfallverordnung (BioAbfV) und der TA-Siedlungsabfall (TASi) bzw. Abfallablagerungsverordnung (AbfAbfV) in Deutschland ein rechtlicher Rahmen für die Förderung der Kreislaufführung biogener Stoffströme. Dabei wird die seit dem 01. Juni 2005 wirksame TASi/AbfAbfV als ein wichtiges Stoffstrom lenkendes

⁴ § 1 BiomasseV: „Diese Verordnung regelt für den Anwendungsbereich des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, welche Stoffe als Biomasse gelten, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung aus Biomasse in den Anwendungsbereich des Gesetzes fallen und welche Umwelanforderungen bei der Erzeugung von Strom aus Biomasse einzuhalten sind.“

Instrument gewertet, wonach unter Berücksichtigung definierter Zuordnungskriterien nur noch die Deponierung thermisch oder mechanisch-biologisch vorbehandelter Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle zulässig ist. Die Verfügbarkeit der in diesem Zusammenhang notwendigen Behandlungskapazitäten für Restmüll kann und wird sich auf die zukünftigen Stoffstromverteilungen auswirken.

Ausgehend von diesen grundlegenden Anforderungen an die energetische Verwertung biogener Reststoffe zur Stromerzeugung werden im Folgenden ausgewählte Stoffgruppen (d. h. Altholz, tierische Nebenprodukte und Bioabfälle) detaillierter untersucht. Gegenstand der Untersuchungen ist dabei:

- * die Zusammenstellung der aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen einschließlich der Identifikation möglicher Unsicherheiten im Umgang mit diesen Regelungen,
- * die Analyse der Stoffströme sowie die Einschätzung des relevanten Marktes,
- * die Beurteilung ökonomischer Aspekte inklusive der Betrachtung der aktuellen Preissituation für die Stoffströme, sowie deren wirtschaftlicher Einsatz zur Stromerzeugung in Anlagen zur Verbrennung oder Vergärung,
- * die Abschätzung zukünftiger Entwicklungen auf Basis der aktuellen Gegebenheiten und sich daraus ableitenden Tendenzen hinsichtlich des Einsatzes dieser Stoffströme.

4 Einsatz von Altholz zur Stromerzeugung

Durch die Regelungen des EEG in Verbindung mit der BiomasseV sowie der Altholzverordnung und der neuen Abfallablagerungsverordnung haben sich in der Vergangenheit auf dem Altholzmarkt im Hinblick auf den Einsatz von Althölzern zur Stromerzeugung signifikante Änderungen vollzogen.

Für die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen ist es daher das Ziel dieses Arbeitspaketes den aktuellen und zukünftigen Markt für Althölzer zur Stromerzeugung zu untersuchen. Dies umfasst nach einem kurzen Abriss der gesetzlichen Rahmenbedingungen die folgenden Schwerpunkte:

- * Markt- und Stoffstromerhebung in Form einer aktuellen Bilanzierung von Altholzaufkommen und -nachfrage,
- * Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für bestehende und zukünftige Altholzkraftwerke,
- * Abschätzung der zukünftigen Entwicklung.

4.1 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

Die Biomasseverordnung sowie die Altholzverordnung definieren Altholz als Industrierestholz und Gebrauchtholz, soweit diese Abfall im Sinne von §3 Abs. 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes sind. Industrieresthölzer sind dabei die in Betrieben der Holzbe- oder -verarbeitung anfallenden Holzreste einschließlich der Holzwerkstoffreste aus Betrieben der Holzwerkstoffindustrie und der Verbundstoffe mit einem Holzanteil über 50 Mass.%. Gebrauchthölzer beinhalten Hölzer, Holzwerkstoffe oder Verbundstoffe (mehr als 50 Mass.%), die bereits als Endprodukt im Einsatz waren und am Ende ihrer Lebensdauer zur Entsorgung anstehen.

Lassen sich Gebrauchthölzer relativ klar einer Abfalleigenschaft zuschreiben, gestaltet sich das bei Industrieresthölzern deutlich schwieriger. Hier kann das gleiche Produkt je nach weiterer Verwendung Abfall oder Nichtabfall sein. So sind die in den Sägewerken anfallenden und an die Holzwerkstoffindustrie vermarkteten Sägespäne kein Abfall, dagegen Sägespäne einer Tischlerei ohne Verwendung jedoch Abfall und damit Altholz. Somit wird die Höhe des Altholzaufkommens auch von den Vermarktungsmöglichkeiten von Industrieresthölzern bestimmt.

4.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die energetische und stoffliche Nutzung von Altholz wird von zahlreichen Vorschriften verschiedener Rechtsgebiete tangiert. Dazu zählen das EEG und die BiomasseV. Im Abfallbereich sind insbesondere das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG), die TA Siedlungsabfall (TASi), die Ablagerungsverordnung (AbfAbIV), die Gewerbeabfallverordnung (GAbfV) sowie die Altholzverordnung (AltholzV) zu nennen.

Mit der TASI/AbfAbfV ist die Deponierung von unbehandelten Abfällen aus Haushalten und Gewerbe seit dem 1. Juni 2005 verboten (vgl. Kapitel 3). Das hat zur Konsequenz, dass auch Holz in Mischabfällen nicht mehr deponiert werden kann.

Die GAbfV, die zum 1. Januar 2003 in Kraft trat, hat zum Ziel, durch Getrennthaltung der Abfälle am Entstehungsort die umweltverträgliche Verwertung und Beseitigung von gewerblichen Siedlungsabfällen sicherzustellen. Die Verordnung hält den gewerblichen Siedlungsabfällen drei Wege der Verwertung offen. Vom Grundsatz her sind Wertstofffraktionen (so auch Holz) getrennt zu erfassen. Es ist jedoch auch eine gemeinsame Erfassung möglich, allerdings nur, wenn die Fraktionen einer Vorbehandlungsanlage zugeführt werden, die gewährleistet, dass sie dort “in weitgehend gleicher Menge und stofflicher Reinheit“ wieder aussortiert werden.

Die AltholzV legt die Anforderungen an die Verwertung und an die Beseitigung von Altholz fest. Es wird eine rechtsverbindliche Klassifizierung in den Altholzkategorien A I bis A IV eingeführt. Die Verordnung schreibt vor, in welchen Arten von Anlagen die jeweiligen Altholzklassen verwertet werden dürfen. Vorgeschrieben sind u. a. auch Vorkontrollen des Betreibers von einer energetischen Altholzverwertungsanlage (d. h. in Form einer Sichtkontrolle und Sortierung, bei vorgebrochenen Material ist eine Beprobung durchzuführen).

Das Verbringen von Abfällen (auch von Holzabfällen) aus dem, in den und durch den Geltungsbereich des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) wird insbesondere geregelt durch:

- * das Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung,
- * das Gesetz zu dem Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung,
- * die EG-Abfallverbringungsverordnung (Verordnung des Rates zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung von Abfällen in der, in die und aus der Europäischen Gemeinschaft [EG-AbfVerbr.V]),
- * das Gesetz über die Überwachung und Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung von Abfällen (AbfVerbrG) und
- * die Transportgenehmigungsverordnung.

Durch das sog. Artikelgesetz zur Umsetzung der Richtlinie zur integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU) und der Änderungsrichtlinie zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) im Jahr 2001 hat es im Anlagengenehmigungsrecht einige wesentliche Änderungen für die Genehmigung von Holzfeuerungsanlagen gegeben. Werden in Anlagen A III/IV-Hölzer gemäß AltholzV verbrannt, sind diese unabhängig von ihrer Größe und ihrer weiteren Funktion (z. B. zur Wärme- und / oder Stromerzeugung) als immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige „Thermische Abfallbehandlungsanlagen“

zu betrachten. Daraus resultiert, dass Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung durchzuführen sind und eine UVP-Pflicht besteht.

Einen wesentlichen Rechtsrahmen für die Stromerzeugung aus Altholz bildet das EEG in Verbindung mit der BiomasseV /1/ f.. So werden u. a. für Altholzkraftwerke ohne Wärmeauskopplung Mindestwirkungsgrade festgelegt und immissionsschutzrechtliche Anforderungen definiert.

4.3 Markt- und Stoffstromerhebung

4.3.1 Altholzaufkommen

Die detaillierte Erfassung des Altholzaufkommens am Entstehungsort erweist sich als schwer realisierbar. Bisherige Ermittlungen des Altholzaufkommens stützen sich daher im Wesentlichen (i) auf die Erhebungen des Umweltstatistikgesetzes teilweise unter Einbeziehung der Abfallbilanzen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger /5/, /57/ sowie (ii) auf Befragungen von Altholzhändlern /56/ und (iii) Abschätzungen. In allen Fällen erfolgt dabei eine Erhebung der bei den Betreibern von Abfallentsorgungsanlagen jeweils eingesetzten Abfallmengen (auf Basis des Umweltstatistikgesetzes) bzw. die Erfassung der gehandelten Mengen (Händlerbefragungen).

Im Rahmen dieses Monitoringprojektes erfolgt die Ermittlung des Altholzaufkommens auf Basis der aktuellsten vorliegenden Erhebungen im Rahmen des Umweltstatistikgesetzes, d. h. auf Daten des Jahres 2003 (Abbildung 4-1). Eine Vergleichbarkeit mit früheren Ergebnissen (z. B. zu den Daten aus /5/) ist insbes. aufgrund der unterdessen mehrfachen Modifizierung der Abfallschlüssel nur sehr eingeschränkt möglich.

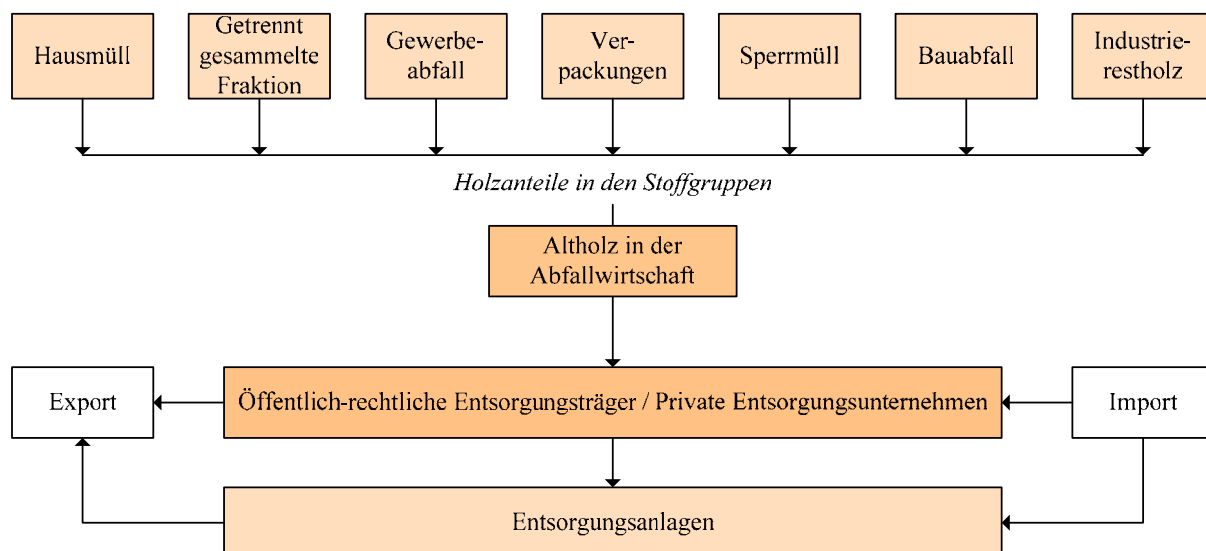


Abbildung 4-1: Stoffstromdiagramm für Altholz auf Grundlage statistischer Erhebungen

Die Interpretierbarkeit der vorliegenden Ergebnisse wird auch durch die seit 01. März 2003 gültige AltholzV erschwert. So musste vor dieser Zeit z. B. beim Sperrmüll keine separate

Erfassung von Altholz erfolgen und eine Deponierung des im Sperrmüll vorhandenen Altholz war (durch großzügig gehandhabte Ausnahmetatbestände zur AbfAbIV) möglich. Dies ist durch die AltholzV ab einer bestimmten (geringen) Mengenschwelle verboten. Infolge dessen hat sich – je nach (zeitnahe) Umsetzung der Verordnung – der Altholzanteil im gesammelten (und deponierten) Sperrmüll bereits 2003 gegenüber den Vorjahren deutlich reduziert.

Die Aussagekraft der Ergebnisse der umweltstatistischen Erhebungen des Jahres 2003 ist auch insofern eingeschränkt, dass mit dem zur Jahresmitte 2005 gültigen Ablagerungsverbot und den einhergehenden Entsorgungseinsparungen und den gestiegenen Entsorgungskosten eine deutliche Erhöhung der (Aus-)sortierung von Althölzern aus Mischfraktionen erfolgte, so dass 2005 (und stärker noch 2006), der Anfall von Althölzern sich gegenüber 2003 (wesentlich) erhöhen und der (Alt-)holzanteil in gemischt anfallenden Abfällen sich im Gegenzug (deutlich) reduzieren wird. Diese Entwicklung ist am Altholzmarkt bereits jetzt zu beobachten /59/.

Siedlungsabfälle

Siedlungsabfälle sind Abfälle aus Haushaltungen sowie andere Abfälle, die aufgrund ihrer Beschaffenheit oder Zusammensetzung den Abfällen aus Haushaltungen ähnlich sind, einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen. Hinsichtlich des (Alt-) Holzaufkommens im Rahmen der Siedlungsabfälle sind die Abfallschlüssel 20 03 01 01 f., 20 03 07 sowie 20 01 37 f. relevant. Die Tabelle 4-1 zeigt das Aufkommen der gemischt vorliegenden Siedlungsabfälle.

Tabelle 4-1: Aufkommen an gemischt vorliegenden Abfällen mit (Alt)holzanteil im Jahr 2003 /58/

| | absolut [kt] |
|---|-----------------|
| Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt (20 03 01 01) | 15.824 |
| Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle nicht über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt (ohne Haus- u. Sperrmüll) ^a (20 03 01 02) | 4.718 |
| Sperrmüll (20 03 07) | 2.608 |
| Summe | 23.150 |

^a inklusive anderer Siedlungsabfälle (bis 2001 z.B. Abfälle für Schredderanlagen, Abfälle aus mechanisch-biologischer Vorbehandlung, etc.. Ab 2002 z. B. Fäkalschlämme, Abfälle aus der Kanalreinigung)

Für die in Tabelle 4-1 aufgeführten Fraktionen wurden entsprechend /5/ und /57/ für Abfallschlüssel 20 03 01 01 ein Holzanteil von 1 %, für Abfallschlüssel 20 03 01 02 ein Holzanteil von 3,6 % und für Abfallschlüssel 20 03 07 ein Holzanteil von 10 % angesetzt. Der deutlich verringerter Holzanteil für Sperrmüll gegenüber Vorgängerstudien ergibt sich – wie bereits erläutert - aus dem Umstand, dass Holz (als Bestandteil des Sperrmülls) aufgrund der Regelungen der AltholzV seit 01. März 2003 im größeren Umfang nicht mehr abgelagert werden darf und daher größere Mengen ggf. nur bis zu diesem Zeitpunkt resultierten.

Neben den in der Tabelle aufgeführten gemischt vorliegenden Abfallarten sind in der Gruppe 20 (Siedlungsabfälle) auch getrennt gesammelte Fraktionen (Gruppe 20 10) und hier auch (Alt-)Holz enthalten. Das beinhaltet Holz, das gefährliche Stoffe enthält (20 01 37) und Holz mit Ausnahme desjenigen, das unter 20 01 37 fällt (20 01 38). Die Ausweisungen der Bundesländer zu den beiden Abfallschlüsseln für das Jahr 2003 sind wenig vergleichbar und beinhalten Werte für das einwohnerspezifische Aufkommen von 0 kg/(EW·a) (Saarland) bis 16,7 kg/(EW·a) (Rheinland-Pfalz). Der Bundesdurchschnitt beträgt 4,7 kg/(EW·a). Hinter diesen Unterschieden verbergen sich weniger verschiedene Strukturen, sondern eher statistische Erfassungs- und Zuordnungsprobleme. Insgesamt werden in den Länderstatistiken 385 kt/a Altholz aus getrennt gesammelten Fraktionen ausgewiesen. Das Altholzaufkommen im Bereich Siedlungsabfälle beträgt damit insgesamt 974 kt/a.

Verpackungsabfälle

Holzverpackungen spielen in der (deutschen) Volkswirtschaft eine große Rolle. Darunter werden insbesondere Paletten, Transportkisten, Kabeltrommeln sowie Obst-, Gemüse- und Zierpflanzenkisten erfasst. Teilweise bestehen etablierte Rücknahmesysteme, so dass eine Mehrfachnutzung erfolgt (z. B. Europaletten). Bei Paletten für Papierzeugnisse sowie bei Obst-, Gemüse- und Zierpflanzenkisten handelt es sich jedoch i. d. R. um Einwegsysteme, die nach der (einmaligen) Nutzung aus dem Produktionsprozess ausscheiden und dann als Altholz anfallen. Verpackungsabfälle sind in der Abfallgruppe 15 enthalten. Für Altholzbetrachtungen relevant sind die Abfallschlüssel 15 01 03 (Verpackungen aus Holz) und 15 01 06 (Gemischte Verpackungen).

Nach den Länderbilanzen wurden im Jahr 2003 insgesamt etwa 230 kt Verpackungen aus Holz (15 01 03) entsorgt. Vergleicht man die Bundesländer, sind deutliche Unterschiede erkennbar, was jedoch wiederum weniger an unterschiedlichen Voraussetzungen in den Bundesländern, sondern eher an statistischen Problemen (unterschiedlicher Erfassungsgrad, unterschiedliche Zuordnung zu den Abfallschlüsseln) liegt.

Die Summe der Werte in den Länderbilanzen zu den gemischten Verpackungsabfällen (15 01 06) ergibt in Deutschland eine Entsorgungsmenge von 4,4 Mio. t/a. Die Länderunterschiede sind wiederum beträchtlich. Abgesicherte Angaben zum Holzanteil dieser Abfallart liegen nicht vor. Nach Expertenaussagen ist in den gemischten Verpackungsabfällen nur ein relativ geringer Holzanteil vorhanden /59/. Für die Berechnung werden hier 15 % angesetzt. Damit ergibt sich ein deutschlandweites Holzaufkommen aus gemischten Verpackungsabfällen von 660 kt/a.

Insgesamt belief sich damit im Jahr 2003 die Summe der entsorgten Holzmenge aus Verpackungen auf etwa 890 kt.

Bau- und Abbruchabfälle

Beim Neubau, Umbau und Rückbau von Gebäuden fallen unterschiedliche Abfälle an, so auch Holz. Es handelt sich hierbei beispielsweise um Schalhälzer, Dielen, Türen, Zargen und

Konstruktionshölzer. Das Abfall- und Altholzaufkommen ist stark von der Art der Baumaßnahme abhängig. Holz wird auf Baustellen häufig separat erfasst (Abfallschlüssel 17 02 01), liegt aber auch in Mischfraktionen vor. Gemischte Bau- und Abbruchabfälle, die keine gefährlichen Stoffe enthalten, werden dem Abfallschlüssel 17 09 04 zugeordnet. Mengenmäßig relevant ist ebenfalls der Abfallschlüssel 17 02 04 Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind. Die anderen Abfallschlüssel der Gruppe 17 sind für Altholzbetrachtungen (mengenmäßig) nicht relevant.

Für den Abfallschlüssel 17 02 01 ergibt sich ein Gesamtaufkommen in Deutschland von etwa 2,3 Mio. t. Gemischte Bau- und Abbruchabfälle fallen in Deutschland in einem Umfang von 4,7 Mio. t an. Auch hier bestehen sehr große Unsicherheiten bei der Festlegung des Holzanteils. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser sich gegenüber dem Jahr 1998/1999 (vgl. Betrachtungen zum Sperrmüll) deutlich verringert hat; daher wird selbiger mit 16 % angesetzt. Unter diesen Annahmen ergibt sich ein Altholzaufkommen aus gemischten Bau- und Abbruchabfällen von insgesamt 750 kt im Jahr 2003. Das Gesamtaufkommen an Abfällen in Deutschland, die Abfallschlüssel 17 02 04 (Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind) zugeordnet sind, betrug 2003 insgesamt 584 kt. Mit einem zugrunde gelegten Holzanteil von 90 % ergibt sich eine enthaltene Holzmenge von 525 kt /57/.

Tabelle 4-2 zeigt zusammenfassend den entsorgten Altholzanfall aus Bauabfällen im Jahr 2003. Insgesamt beträgt dieser 3,6 Mio. t, davon liegen 2,3 Mio. t separat als Altholz vor.

Tabelle 4-2: Altholzanfall aus Bauabfällen im Jahr 2003

| | absolut [kt] | Anteil [%] |
|----------|--------------|------------|
| 17 02 01 | 2.348 | 64,8 |
| 17 02 04 | 525 | 14,5 |
| 17 09 04 | 750 | 20,7 |
| Summe | 3.623 | 100,0 |

Abfälle aus der Holzbearbeitung und der Herstellung von Platten, Möbeln, Zellstoffen, Papier und Pappe

In den Betrieben der Holzindustrie, der Holzwerkstoffindustrie sowie der Zellstoffindustrie fallen im Rahmen der Produktionsprozesse verschiedenartige Holzreste an. Mengenmäßig relevant und zu berücksichtigen sind die Abfallschlüssel 03 01 01, 03 01 05 und 03 03 01 (Tabelle 4-3).

Bei der Einschätzung der im Rahmen der Umweltstatistikerhebung erfassten Mengen ist zu beachten, dass Holzabfälle in diesem Anfallsbereich vielfach Produkteigenschaften besitzen und es sich hierbei nicht um Abfälle im Sinne von §3 Abs. 1 des KrW-/AbfG handelt. Das trifft z. B. insbesondere auf die Sägewerksindustrie zu, da die Nebenprodukte (d. h. Hackschnitzel, Späne) mit definierten (Produkt-)eigenschaften im starken Maße in der Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie eingesetzt werden.

Auf Basis der Länderstatistiken ergeben sich für Deutschland die in Tabelle 4-3 dargestellten Holzabfallmengen für die einzelnen relevanten Abfallschlüssel. Für 2003 resultiert daraus eine Gesamtholzmenge von 2,4 Mio. t. Ein Vergleich mit der insgesamt in der Holz- und Zellstoffindustrie als Restholz anfallenden Holzmengen, die in der Größenordnung von 8 Mio. t liegt /60/, ergibt einen Anteil von etwa 30 %. Bei der Ergebnisinterpretation ist zu beachten, dass statistisch teilweise auch Mengen erfasst werden, die den Einsatz in eigenen Feuerungsanlagen umfassen und damit nicht dem Altholzmarkt zur Verfügung stehen. Umweltstatistisch erfasst werden jedoch i. d. R. keine Althölzer, die in holzverarbeitenden Betrieben anfallen, die keine Abfallentsorgungsanlage (d. h. auch Feuerungsanlage > 1 MW Feuerungswärmeleistung) besitzen /61/.

Tabelle 4-3: Aufkommen an Holzabfällen in der Holzbearbeitung und der Herstellung von Platten, Möbeln, Zellstoffen, Papier und Pappe

| | absolut [kt] | Anteil [%] |
|---|--------------|------------|
| 03 01 01 - Rinden- und Korkabfälle | 530 | 21,7 |
| 03 01 05 - Sägemehl, Späne, Abschnitte, Holz, Spanplatten und Furniere, die keine gefährlichen Stoffe enthalten | 1.620 | 66,3 |
| 03 03 01 - Rinden- und Holzabfälle | 290 | 12,0 |
| Summe | 2.440 | 100,0 |

Zusammenfassung

Die nachfolgende Zusammenfassung zum Altholzaufkommen umfasst eine Übersicht zum Aufkommen auf Bundesebene, aufgeschlüsselt nach Abfallbereichen und Altholzklassen sowie eine Übersicht zur regionalen Verteilung.

Aufkommen auf Bundesebene

Die Tabelle 4-4 zeigt das bundesweite Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallsbereichen auf. Auf Basis der Länderstatistiken lässt sich ein Altholzanfall in der Größenordnung von 7,9 Mio. t abschätzen, davon liegen etwa 5,4 Mio. t separat als Altholz vor. In der Erhebung auf Basis der Daten des Jahres 1998/99 wurde ebenfalls ein Altholzaufkommen von 7,9 Mio. t ermittelt /5/. Die separat erfasste Menge von 5,4 Mio. t liegt in ähnlicher Größenordnung wie das erfasste Aufkommen (ohne Import) in /5/, welches 5,9 Mio. t betrug. Dieser Wert deckt sich auch mit Einschätzungen von Experten des Altholzmarktes, die von einem Marktvolumen von 5 bis 6 Mio. t ausgehen /62/. Mengenmäßig dominierend sind Althölzer im Kontext von Bauabfällen und von Abfällen in der Holzindustrie.

Tabelle 4-4: Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallbereichen

| | Altholzanfall insgesamt | | davon separat vorliegend | |
|---------------------------|-------------------------|------------|--------------------------|------------|
| | absolut [kt] | Anteil [%] | absolut [t] | Anteil [%] |
| Siedlungsabfälle | 974 | 12,3 | 385 | 7,1 |
| Verpackungsabfälle | 891 | 11,2 | 229 | 4,2 |
| Bauabfälle | 3.623 | 45,7 | 2.348 | 43,5 |
| Abfälle der Holzindustrie | 2.441 | 30,8 | 2.441 | 45,2 |
| Summe | 7.929 | 100,0 | 5.403 | 100,0 |

Gesamt-Altholzanfall 2003:

7,9 Mio. t (davon 5,4 Mio. t separat vorliegend)

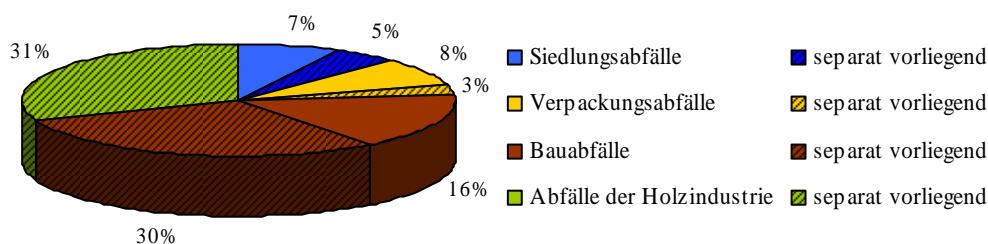


Abbildung 4-2: Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallbereichen

Die Altholzverordnung unterscheidet auf Basis der Schadstoffbelastung vier Altholzkategorien sowie PCB-Holz. Anhang III der AltholzV beinhaltet eine Regelfallzuordnung der gängigen Altholzsortimente zu den Abfallschlüsseln und den Altholzklassen. Eine eindeutige Zuordnung der einzelnen Abfallschlüssel ist jedoch zumeist nicht möglich. So kann beispielsweise der Abfallschlüssel 15 01 03 Altholz der Kategorien A I bis A III umfassen. Der Abfallschlüssel 17 02 01 beinhaltet in der Regel jedoch nur A II-Hölzer. Eine grobe anteilmäßige Zuordnung ist jedoch aufgrund der Anteile der einzelnen Abfallschlüssel und der Häufigkeit bestimmter Holzbehandlungen möglich. Auf dieser Basis lässt sich eine grobe Aufteilung entsprechend Tabelle 4-5 vornehmen.

Tabelle 4-5: Bundesweites Aufkommen an separat vorliegendem Altholz in den verschiedenen Anfallsbereichen und grobe Abschätzung der Anteile der einzelnen Altholzkategorien

| | absolut [kt] | mögliche Altholzklassen | vorwiegend | Anteil [%] | | | |
|---------------------------|--------------|-------------------------|------------|------------|------|-------|------|
| | | | | A I | A II | A III | A IV |
| Siedlungsabfälle | 385 | A I, A III | A III | 20 | | 80 | |
| Verpackungsabfälle | 229 | A I, A II, A III | A I | 70 | 20 | 10 | |
| Bauabfälle | 2.348 | A II, A IV | A II | | 70 | | 30 |
| Abfälle der Holzindustrie | 2.441 | A I, A II | A I (A II) | 70 | 30 | | |
| Summe | 5.403 | | | | | | |

Auf Basis dieser Zuordnungen lässt sich das getrennt erfasste Altholz auf die einzelnen Altholzklassen aufteilen. Bezogen auf die Gesamtmenge an separat vorliegenden Althölzern hat die Altholzklasse A I einen Anteil von 36 % und der von A II einen Anteil von 40 % an

der erfassten Gesamtmenge. Die Anteile von A III/IV-Hölzern sind dagegen mit 6 % bzw. 13 % deutlich geringer (Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6: Bundesweites Aufkommen an separat vorliegendem Altholz in den verschiedenen Anfallsbereichen und Altholzkategorien im Jahr 2003

| | absolut [kt] | anteilig davon [kt] | | | |
|---------------------------|--------------|---------------------|-------|-------|------|
| | | A I | A II | A III | A IV |
| Siedlungsabfälle | 385 | 77 | 0 | 308 | 0 |
| Verpackungsabfälle | 229 | 137 | 46 | 23 | 23 |
| Bauabfälle | 2.348 | 0 | 1.644 | 0 | 704 |
| Abfälle der Holzindustrie | 2.441 | 1.709 | 732 | 0 | 0 |
| Summe | 5.403 | 1.923 | 2.422 | 331 | 727 |
| Anteil [%] | 100 | 36 | 45 | 6 | 13 |

Vergleicht man diese grobe Zuordnung mit den Ergebnissen anderer auf Angaben der Altholzhändler basierenden Untersuchungen /56/ zeigen sich deutliche Unterschiede (Tabelle 4-7). Ursachen dafür könnten sein, dass bei in der Praxis häufig vorkommenden gemischt vorliegenden Hölzern nach der AltholzV eine Zuordnung zur höheren Kategorie zu erfolgen hat, so dass bei Bauabfällen (deutlich) häufiger als aufgezeigt A IV-Hölzer resultieren. Gegebenenfalls führen in /56/ berücksichtigte Importe (möglicherweise insbesondere A III/IV-Hölzer) ebenso zu Verzerrungen.

Tabelle 4-7: Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallsbereichen und Altholzkategorien im Jahr 2003 im Vergleich zu /56/

| Altholzkategorie | Ableitung IE | | Standorte der Holzwirtschaft 2005 | |
|------------------|------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| | absolut [Mio. t] | Anteil [%] | absolut [Mio. t] | Anteil [%] |
| A I | 1,923 | 36 | 1,112 | 17 |
| A II | 2,422 | 45 | 2,265 | 35 |
| A III | 0,331 | 6 | 2,050 | 31 |
| A IV | 0,727 | 13 | 1,094 | 17 |
| Summe | 5,403 | 100 | 6,531 | 100 |

Aufkommen nach Bundesländern

Die Abbildung 4-3 zeigt das Aufkommen an separat vorliegenden Althölzern in den einzelnen Bundesländern. Große Mengen werden in Nordrhein-Westfalen aufgrund der hohen Einwohnerzahl sowie umfassender Bautätigkeit entsorgt. Vom Aufkommen her bedeutend sind ebenfalls Baden-Württemberg und Bayern. Das – eher überraschend – hohe Aufkommen in Brandenburg ist ggf. mit aus Berlin und anderen Bundesländern entsorgten Mengen zu erklären. Nur wenig nachvollziehbar ist jedoch die hohe ausgewiesene Menge für Mecklenburg-Vorpommern, die insbesondere von der Holzindustrie herrührt. Ggf. wird das durch Altholzverbrennung an den Säge- und Holzwerkstoffindustriestandort Wismar hervorgerufen. Insgesamt ist jedoch – wie bereits mehrfach ausgeführt – zu berücksichtigen,

dass aufgrund der großen Datenunsicherheiten die Aussagekraft der Landesergebnisse teilweise stark eingeschränkt ist.

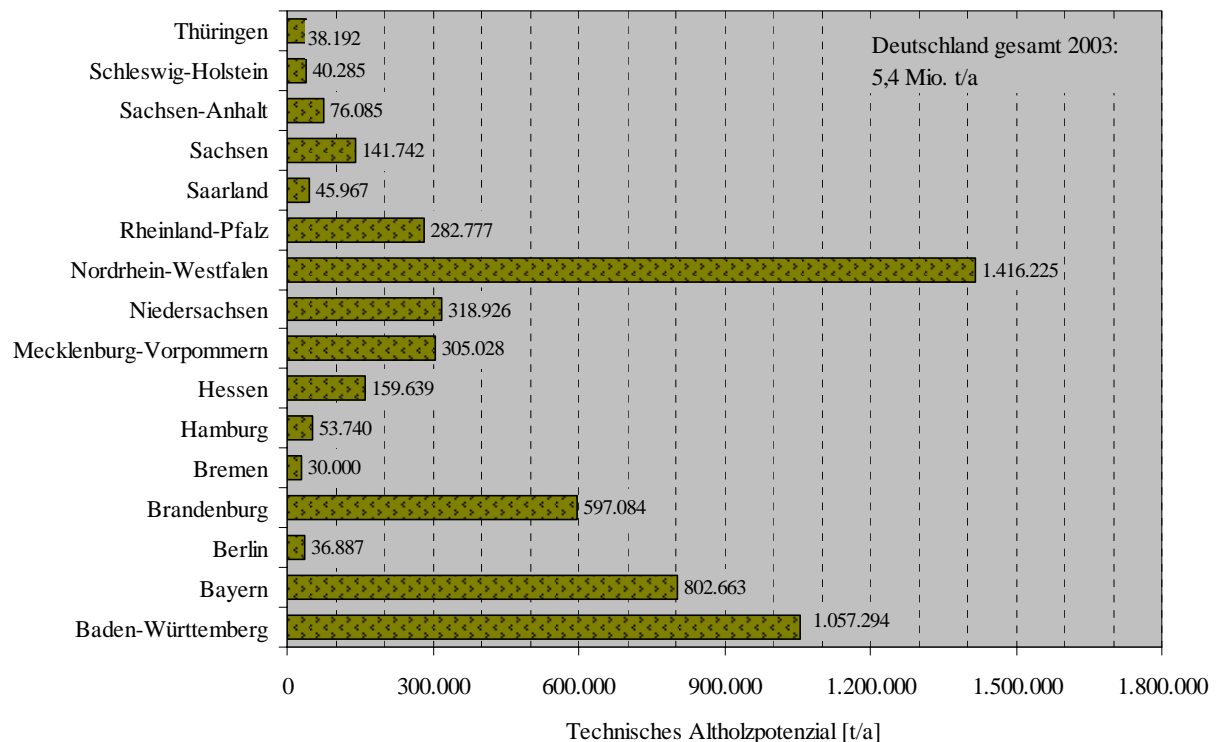


Abbildung 4-3: Technisches Potenzial separat vorliegender Altholzmengen in den Bundesländern im Jahr 2003

4.3.2 Altholznachfrage

Die Nachfrage an Altholz kann in stoffliche Verwertung/ Nutzung, energetische Verwertung/ Nutzung sowie in Beseitigung unterschieden werden.

Stoffliche Nutzung

Altholz kann vielfältig stofflich genutzt werden. Der Einsatzschwerpunkt liegt derzeit in der Holzwerkstoffindustrie. Verwendung findet Altholz jedoch auch in geringerem Maße in Kompostierungsanlagen sowie in Reitsporthallen. Die weiteren in der Altholzverordnung aufgeführten stofflichen Verwertungsverfahren „Gewinnung von Synthesegas zur Herstellung von Methanol sowie „Herstellung von Aktivkohle/Industriekohle“ haben vom Mengendurchsatz höchstwahrscheinlich nur eine geringe Bedeutung. Zahlen dazu liegen nicht vor. Nachfolgend wird die Holzwerkstoffindustrie aufgrund der hohen Altholzeinsatzmengen detaillierter betrachtet.

Im Rahmen der Holzwerkstoffherstellung bieten insbesondere die Produktlinien Spanplatte, MDF und OSB die Möglichkeit zur stofflichen Verwertung von Altholz, da sie Holz in zerkleinerter Form als Späne, Fasern oder Strands einsetzen /63/. Die technischen Voraussetzungen für die Altholzerkleinerung und -reinigung sind für alle drei Optionen gegeben. Technisch könnten sehr hohe Altholzanteile erreicht werden. So haben Althölzer in

der italienischen Holzwerkstoffindustrie bei bestimmten Plattentypen einen Anteil von 80 % bis 100 % am Holzrohstoffeinsatz.

Der Einsatz von Althölzern in der Holzwerkstoffindustrie wird von den Regelungen der AltholzV bestimmt. Demnach ist der Einsatz von A I-Hölzern möglich und der Einsatz von A II/III-Hölzern hingegen nur, wenn Lackierungen und Beschichtungen durch eine Vorbehandlung weitgehend entfernt wurden oder im Rahmen des Aufbereitungsprozesses entfernt werden. Die Aufbereitung und Verwendung von A I/II-Hölzern ist üblich, zur Aufbereitung von A III-Hölzern zur stofflichen Nutzung existiert nur eine Anlage in Deutschland /62/.

Althölzer werden in Deutschland vorwiegend in der Spanplattenindustrie und in geringerem Maße für die MDF-Herstellung verwendet. Aktuellere Zahlen zum Altholzeinsatz in der Holzwerkstoffindustrie liegen nicht vor. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass 2004 und 2005 die Einsatzmengen in gleicher Größenordnung wie 2002 bzw. 2003 gelegen haben (etwa 1 Mio. t). Weiters ist zu vermuten, dass mögliche Einsatzmengenverringerungen, die sich ggf. durch die Regelungen der AltholzV ergeben haben, durch Produktionserhöhungen (über-)kompensiert wurden.

Insgesamt variieren die veröffentlichten Zahlen zum Altholzeinsatz für stoffliche Zwecke deutlich. Die Spannweite liegt bei 1,7 bis 3,0 Mio. t /63/. Im Rahmen dieser Altholzbilanzierung werden für das Jahr 2003 insgesamt 2 Mio. t angesetzt.

Energetische Nutzung

Die energetische Verwertung von Altholz beschränkt sich gegenwärtig auf den Einsatz in Feuerungsanlagen zur Stromerzeugung, Wärmebereitstellung und KWK. Die Tabelle 4-8 zeigt die prinzipiellen Möglichkeiten des Einsatzes verschiedener Altholzklassen in unterschiedlichen Feuerungsanlagenengrößen auf /63/. Bis zu einer Feuerungswärmeleistung (FWL) von 50 kW_{FWL} ist nur der Einsatz von Hölzern der A I-Kategorie möglich. A II-Hölzer können ab 1 MW_{FWL}, in der Holzverarbeitenden Industrie bereits ab 50 kW_{FWL}, eingesetzt werden. Die Altholzklassen A III/IV sind ebenfalls in Anlagen ab 1 MW_{FWL} genehmigungsfähig. Zu berücksichtigen ist jedoch zweierlei. Einerseits kann zwischen immissionsschutzrechtlich erlaubt und Realität eine deutliche Diskrepanz bestehen. Es kann davon ausgegangen werden, dass in Kleinf Feuerungen ebenso Hölzer der Kategorie A II bis IV eingesetzt werden (vgl. die nachfolgenden Ausführungen). Andererseits regelt bei überwachten Anlagen die Wirtschaftlichkeit auch den Einsatz bestimmter Altholzklassen. Da die technischen und finanziellen Aufwendungen bei der Verwendung von hochbelasteten Hölzern stark ansteigen (infolge höherer Anforderungen an die Rauchgasreinigung, die spezifisch auf die Gesamtanlage bezogen überproportional hohe Investitionskosten haben), ist eine Mindestanlagenengröße erforderlich.

Tabelle 4-8: Einsatzmöglichkeiten der einzelnen Altholzkategorien in unterschiedlichen Feuerungsanlagengrößen (nach /63/)

| Altholzkategorie | Anlagengröße | | | |
|------------------|------------------------|--|------------------------|------------------------|
| | < 50 kW _{FWL} | < 1 MW _{FWL} | < 50 MW _{FWL} | ≥ 50 MW _{FWL} |
| A I | möglich ^a | möglich | möglich | möglich |
| A II | nicht erlaubt | nur in Betrieben der Holzbe- und -verarbeitung möglich | möglich | möglich |
| A III | nicht erlaubt | nicht erlaubt | möglich | möglich |
| A IV | nicht erlaubt | nicht erlaubt | möglich | möglich |

^a <15 kW_{FWL} muss der Brennstoff stückig oder als Pellet bzw. Brikett aufbereitet sein

Kleinf Feuerungsanlagen (d. h. < 15 kW_{FWL}) zur Wärmebereitstellung sind typischerweise in Haushalten und Kleinstbetrieben zu finden. Zum Einsatz kommen dabei verschiedene Anlagentypen, wie z. B. Einzelfeuerstätten (Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Heizkamine) und Zentralheizungen (in der Regel Stückholzkessel). Der Jahresgesamtbrennstoffbedarf dieser Anlagen wird für das Jahr 2001 mit 10,4 Mio. t abgeschätzt /64/. Im Jahr 2003 ist von einer ähnlichen Größenordnung auszugehen. Dabei ist davon auszugehen, dass etwa die Hälfte des Brennstoffbedarfs über den – nicht in Abfallstatistiken erfassten – Einsatz von Althölzern (z. B. „verbrennbares“ Holz, das nicht erst der Hausmüll- bzw. Sperrmüllsammlung zugeführt wird, Restholz aus holzverarbeitenden Betrieben oder Begleitholz aus Straßenmeistereien) gedeckt wird.

Anlagen von 15 kW_{FWL} bis 1 MW_{FWL}. Im kleineren Leistungsbereich sind noch zahlreiche Anlagen im Haushaltsbereich enthalten, ab 100 kW nur noch solche im GHDÜ- und Industriesektor /64/, /66/. Zahlreiche Anlagen befinden sich im Holzhandwerk und der holzverarbeitenden Industrie, in der Landwirtschaft sowie weitere (größere) im kommunalen Bereich. Auch hier liegen abgesicherte Angaben zum Brennstoff nicht vor. Eine Gegenüberstellung verschiedener Untersuchungen zum Brennstoffmix ist in /66/ zu finden. Insgesamt scheint ein Altholzanteil von etwa 20 % nicht unwahrscheinlich, der sich jedoch ebenfalls wie bei den Haushalten nicht auf der Erfassungs- bzw. Aufkommenseite wiederfinden wird. Legt man einen Holzeinsatz in einer Größenordnung von 3 Mio. t zugrunde, ergibt sich bei einem Altholzanteil von 20 % eine bereits energetisch genutzte Altholzmenge von 0,6 Mio. t/a. Zwischen den energetischen Holzeinsatz im Jahr 2001 und 2003 bestehen insgesamt nur geringe Unterschiede.

Anlagen > 1 MW_{FWL}. Handelt es sich bei Anlagen bis 1 MW in der Regel um Wärmeerzeugungsanlagen, so sind in dieser Anlagenkategorie reine Wärmeerzeugungsanlagen, KWK-Anlagen sowie ausschließliche Stromerzeugungsanlagen enthalten. Insgesamt werden in den Feuerungsanlagen > 1 MW_{FWL} über 3,8 Mio. t Altholz eingesetzt. Der Schwerpunkt des Altholzeinsatzes liegt bei den Anlagen mit einem Brennstoffbedarf von mehr als 50 kt /66/. Vergleicht man diesen Wert mit den Altholzeinsatz in Stromerzeugungsanlagen – welcher im Jahr 2003 eine Größenordnung von 3,1 Mio. t hatte /5/, so wird deutlich, dass diese etwa 90 Anlagen (Jahresende 2003) den Brennstoffbedarf

wesentlich bestimmen (vgl. Kapitel 2.1). Der Altholzbedarf der ausschließlichen Wärmeerzeugungsanlagen – die vornehmlich in der Größenklasse bis 10 kt Holzeinsatz angesiedelt sind – dürfte sich demnach auf maximal 0,7 Mio. t belaufen.

Die Tabelle 4-9 zeigt differenziert nach Anlagenkategorien den Holzeinsatz in Summe sowie den Altholzeinsatz auf. Die Gesamtbetrachtung wird dabei durch den untransparenten Altholzeinsatz in den Anlagen unter 15 kW_{FWL} und im Leistungsbereich 15 bis 1.000 kW_{FWL} erschwert. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Altholzverbrauch in den beiden Bereichen in den Abfallbilanzen i. d. R. nicht erfasst wird. Der Gesamthalholzeinsatz für energetische Zwecke lag im Jahr 2003 bei ca. 9,4 Mio. t/a. In den Abfallbilanzen enthalten sind hingegen nur ca. 3,8 Mio. t.

Tabelle 4-9: Holz- und Altholz in Feuerungsanlagen im Jahr 2003

| | Holzeinsatz insgesamt [Mio. t] | Anteil Altholz [%] | Altholzeinsatz [Mio. t] ^a |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|
| Wärme | | | |
| bis 15 kW _{FWL} | 10,5 | ca. 5 (50) | 5,0 (0,0) |
| 15 bis 1.000 kW _{FWL} | 3,0 | ca. 20 | 0,6 (0,0) |
| > 1.000 kW _{FWL} | 3,0 | ca. 33 | 0,7 |
| Summe | 16,5 | | 6,3 (0,7) |
| Strom bzw. Strom/ Wärme (KWK) | 3,9 | ca. 80 | 3,1 |
| Gesamtsumme | 20,4 | | 9,4 (3,8) |

^a reale Mengen, in Klammern mit der Abfallstatistik korrespondierende Werte

Beseitigung

Eine Beseitigung von Althölzern und Stoffgemischen mit Altholzbestandteilen kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Die Beseitigung von Althölzern auf Deponien ist mit dem Inkrafttreten der Altholzverordnung seit 1. März 2003 nicht mehr möglich, was aber bei getrennt vorliegenden Althölzern auch vorher schon kaum Praxis war. Mit dem Inkrafttreten des Ablagerungsverbots dürfen seit Mitte 2005 auch keine Hölzer in Stoffgemischen mehr deponiert werden. Auch die Beseitigung von Althölzern in Sondernverbrennungsanlagen kann als mengenmäßig irrelevant eingeschätzt werden und betrifft höchstens PCB-Hölzer. Die Beseitigung von (separat vorliegenden) Althölzern spielte im Jahr 2003 nur noch eine geringe Bedeutung (schätzungsweise 0,2 Mio. t /vgl. /63/) und dürfte sich im Jahr 2005 gegen Null bewegen. Althölzer, die Bestandteil von Abfallgemischen sind, wurden jedoch 2003 und auch 2005 noch in großem Umfang beseitigt. Nachfolgend wird etwas ausführlicher die Altholzbeseitigung in Abfallverbrennungsanlagen sowie in Zementwerken dargestellt.

Die Tabelle 4-10 zeigt Anlieferungsmengen in **Abfallverbrennungsanlagen** im Zeitraum 1998 bis 2003 (aktuellere Zahlen liegen nicht vor) differenziert nach Art der Anlagen. In Anlagen der Entsorgungswirtschaft (Hausmüllverbrennungsanlagen) werden hauptsächlich Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt (2002: 8,4 Mio. t) sowie hausmüllähnliche Gewerbeabfälle nicht über die öffentliche

Müllabfuhr eingesammelt (ohne Haus- und Sperrmüll) (1,3 Mio. t) und Sperrmüll (0,8 Mio. t) verbrannt. In jedem dieser Abfälle ist auch Altholz Bestandteil (vgl. Abschnitt Aufkommen Siedlungsabfälle). Weitere Holzmengen in jedoch kaum nennenswertem Umfang sind in den Abfällen aus Produktion und Gewerbe und Bau- und Abbruchabfälle enthalten. Der Einsatz von separat vorliegenden Holzfraktionen dürfte in den letzten Jahren eine große Ausnahme gewesen sein, da der Mülldurchsatz aufgrund des hohen Heizwertes des Holzes eingeschränkt wird und insbesondere die Annahmepreise dafür unterdessen in einer Größenordnung von 200 €/t liegen, bei Altholzaufbereitern dagegen deutlich geringe Entsorgungskosten resultieren. Ist im Jahr 2004 von ähnlichen Anlieferungsmengen in Abfallverbrennungsanlagen wie 2003 zu rechnen, werden sich 2005 und noch deutlicher 2006 aufgrund des Ablagerungsverbotes nach TASI/AbfAbIV deutliche Veränderungen zeigen. Die Einsatzmengen in Hausmüllverbrennungsanlagen werden sich deutlich erhöhen. Die Holzanteile der einzelnen Fraktionen werden jedoch (deutlich) sinken, da aufgrund der Entsorgungsengpässe und der in den letzten Monaten stark gestiegenen Annahmepreise, Wertstoffe (so auch Hölzer, z. B. aus dem Sperrmüll) deutlich stärker als im bisherigen Maße vorher aussortiert werden.

Tabelle 4-10: Anlieferungsmengen in Abfallverbrennungsanlagen im Zeitraum 1998 bis 2003 /69/

| Menge [kt] | 1998 ^a | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|--------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| Gesamt | 15.911 | 18.283 | 20.457 | 21.180 | 22.710 | 23.177 |
| davon Entsorgungswirtschaft | 10.660 | 12.701 | 13.920 | 14.242 | 14.781 | 15.217 |
| davon betriebliche Entsorgung | 2.588 | 3.371 | 4.167 | 4.816 | 4.973 | 5.352 |
| davon überwachungsbedürftige Anlagen | 2.663 | 2.211 | 2.370 | 2.122 | 2.317 | 2.608 ^b |

^a ohne Hamburg

^b vorläufige Angabe

In der **Zementindustrie** Brennstoffenergie wird bei der Zementherstellung schwerpunktmäßig für das Brennen des Zementklinkers aufgewendet. Die traditionellen Brennstoffe in der Zementindustrie sind seit Mitte der 70er-Jahre Steinkohle und Braunkohle, in geringerer Menge auch schweres Heizöl. Seit den 90er-Jahren wurde dann ein nennenswerter Teil der Kohle durch Petrolkoks ersetzt. Zum Anfahren des Ofens sowie für Trocknungsprozesse werden darüber hinaus leichtes und schweres Heizöl sowie Gas verwendet. Insgesamt wurden im Jahr 2004 in der Zementindustrie 95 PJ Brennstoffe eingesetzt, davon ca. 55 PJ fossiler Herkunft und etwa 40 PJ Sekundärrohstoffe. Der Anteil der Sekundärrohstoffe hat sich in den letzten Jahren wesentlich erhöht. Im Jahr 1998 waren es erst 19 PJ bei einem Gesamtbrennstoffbedarf von etwa 101 PJ/a /70/. Die Bedeutung von Althölzern hat dagegen in den letzten Jahren deutlich abgenommen (Tabelle 4-11). Wurden im Jahr 1998 mit 76 kt Altholz noch etwa 1 % des thermischen Energiebedarfs gedeckt, waren es 2004 bei 42 kt nur noch 0,62 %. Der Altholzeinsatz in der Zementindustrie hat damit keine große Relevanz mehr.

Tabelle 4-11: Altholzeinsatz in Anlagen der Zementindustrie im Zeitraum 1998 bis 2004 /70/

| Menge [kt] | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|-----------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sekundärrohstoffe insgesamt | 782 | 923 | 1.069 | 1.272 | 1.438 | 1.733 | 2.042 |
| davon Altholz | 76 | 77 | 79 | 72 | 63 | 48 | 42 |

4.3.3 Außenhandel

Altholz ist ein Handelsgut, welches auch importiert und exportiert wird. Altholz kann dabei als notifizierungspflichtiger bzw. als nicht notifizierungspflichtiger Abfall eingeordnet werden. Maßgeblich dafür sind die Anhänge II-IV der EG-Abfallverbringungsverordnung (EG-AbfVerbrV). Nicht notifizierungspflichtig sind unbelastete Althölzer (A I), belastete Althölzer (A II bis A IV) sind dagegen notifizierungspflichtig.

Auf Basis von Statistiken ist es nicht möglich, sich ein vollständiges Bild zum Außenhandel zu bilden. Die Statistiken zur Verbringung von notifizierungspflichtigen Abfall enthalten wie bereits ausgeführt nur Althölzer der Kategorien A II bis IV. Eine Ergänzung durch die Außenhandelsstatistik ist nicht möglich, da dieser erstens nicht zwischen Produkt und Abfall unterscheidet und zweitens im EU-Intrahandel einzelbetriebliche Lieferungen mit einem Wert unter 300.000 € nicht erfasst werden /71/. Durch diese gerade für Althölzer relativ hohe Abschneidegrenze kann es sein, dass der Außenhandel mit Althölzern stark fehlerbehaftet – d.h. deutlich zu niedrig – abgebildet wird. Genauere Einschätzungen hinsichtlich des Fehlers setzen jedoch spezifische Kenntnisse der Liefermodalitäten (u. a. Anzahl der Importeure/ Exporteure, Lieferumfang) voraus. Es ist zudem nicht möglich, den Umfang der nicht notifizierungspflichtigen Abfälle mit den Angaben der Außenhandelsstatistik gleichzusetzen, erstens wegen der bereits thematisierten Teilerfassung und insbesondere zweitens, da in der Außenhandelsstatistik auch notifizierungspflichtige Abfälle enthalten sind und damit Doppelzählungen resultieren.

Die Tabelle 4-12 zeigt den Export, Import sowie das Außenhandelssaldo von notifizierungspflichtigen Holzabfällen der drei Holzabfallarten nach der EG Abfallstatistikverordnung im Zeitraum von 2001 bis 2004 auf. Lagen die Exporte noch 2001 auf einem relativ hohen Niveau, haben sie sich in den Folgejahren deutlich verringert. Ursachen dafür sind die zurückgehenden Lieferungen insbesondere an die italienische Holzwerkstoffindustrie. Die mit Abstand umfangreichsten Exporte erfolgten 2004 aus Baden-Württemberg (ca. 190 kt). Die Importe von Althölzern nach Deutschland haben in den letzten Jahren deutlich zugenommen (Abbildung 4-4). Dahinter verbergen sich schwerpunktmäßig Mengen zur energetischen Verwertung in Altholzkraftwerken. Bedeutendstes Importland waren die Niederlande.

Tabelle 4-12: Exporte, Importe und Außenhandelssaldo von Holzabfällen im Zeitraum 2001 bis 2004 /72/

| Abfallart nach der EG Abfallstatistikverordnung | | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|---|-------------------------|----------|---------|---------|----------|
| <i>Export [t]</i> | | | | | |
| 07.51 | Holzverpackungen | 0 | 10 192 | 22 873 | 16 115 |
| 07.52 | Sägemehl- und Holzspäne | 33 245 | 14 006 | 55 644 | 163 324 |
| 07.53 | Andere Holzabfälle | 475 955 | 327 633 | 202 654 | 136 707 |
| Summe | | 509 200 | 351 831 | 281 171 | 316 146 |
| <i>Import [t]</i> | | | | | |
| 07.51 | Holzverpackungen | 43 703 | 9 910 | 14 943 | 331 |
| 07.52 | Sägemehl- und Holzspäne | 30 059 | 10 789 | 7 237 | 23 748 |
| 07.53 | Andere Holzabfälle | 224 646 | 364 165 | 411 174 | 639 222 |
| Summe | | 298 408 | 384 864 | 433 354 | 619 457 |
| <i>Saldo (Import-Export)[t]</i> | | | | | |
| 07.51 | Holzverpackungen | 43 703 | -282 | -7 930 | -15 784 |
| 07.52 | Sägemehl- und Holzspäne | -3 186 | -3 217 | -48 407 | -139 576 |
| 07.53 | Andere Holzabfälle | -251 309 | 36 532 | 208 520 | 502 515 |
| Summe | | -210 792 | 33 033 | 152 183 | 347 155 |

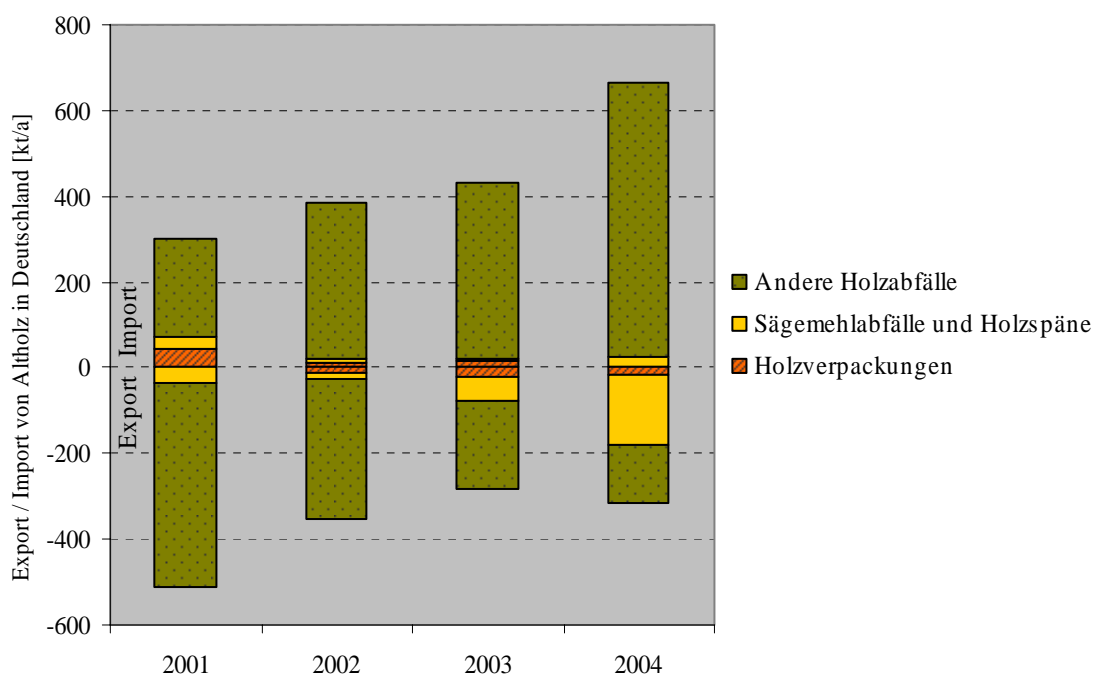


Abbildung 4-4: Export und Importe von Holzabfällen im Zeitraum 2001 bis 2004

4.3.4 Altholzbilanz 2003

Die Tabelle 4-13 zeigt die Aufkommens- und Nutzungsbilanz für Althölzer für das Jahr 2003 auf. Der wohl mit relativ geringen Fehlern ermittelte mit den Abfallbilanzen korrespondierende Altholzverbrauch liegt etwas über dem inländischen Altholzangebot. Dass beim Außenhandel A I-Hölzer nicht berücksichtigt wurden, kann nicht als hinreichender Erklärungsansatz angesehen werden, da dessen Umfang maximal 200 kt betragen wird. Demzufolge kann nur ein teilweise unterbewertetes Aufkommen als Ursache für die Diskrepanz in Frage kommen.

Die wesentlichste Ursache ist höchstwahrscheinlich, dass die statistisch erfassten Entsorgungsmengen niedriger als das reale Altholzaufkommen sind. So werden beispielsweise Holzfeuerungsanlagen $< 1 \text{ MW}_{\text{FWL}}$ nicht als Abfallentsorgungsanlagen und damit nicht als Aufkommen erfasst /61/; im Verbrauch sind diese Anlagen jedoch dann enthalten.

Es erscheint auch möglich, dass Direktlieferungen aus der Holzverarbeitenden Industrie an Kraftwerksbetreiber nicht in den Entsorgungsbilanzen auftauchen. Problematisch erscheint auch der Umfang der Holzfraktion in den Siedlungsabfällen und die Verpackungsabfälle zu sein, die wohl zu gering verbucht sind.

Tabelle 4-13: Altholzbilanz für Deutschland für das Jahr 2003

| | Menge [Mio. t] |
|---|----------------|
| <i>Aufkommen, Inland (separat vorliegend)</i> | |
| Siedlungsabfälle | 0,38 |
| Verpackungsabfälle | 0,23 |
| Bauabfälle | 2,38 |
| Abfälle der Holzindustrie | 2,44 |
| Summe | 5,43 |
| <i>Außenhandel</i> | |
| Import | 0,43 |
| Export | 0,28 |
| Saldo (Import – Export) | 0,15 |
| <i>Altholzangebot im Inland</i> | |
| Saldo | 5,58 |
| <i>Verwertung/ Beseitigung</i> | |
| Stoffliche Verwertung | 2,00 |
| Energetische Verwertung | 3,80 |
| Beseitigung | 0,20 |
| Summe | 6,00 |

4.3.5 Marktakteure und Marktsituation

Mit Altholz sind zahlreiche sehr unterschiedliche Unternehmenszweige befasst. Bei der ersten Gruppe handelt es sich vorzugsweise um Containerdienste ohne eigenen Holzlagerplatz, die ausschließlich Altholz sammeln. Die jährlich erfassten Mengen dieser Gruppe beläuft sich auf maximal 10 kt/a*Betrieb. Größere meist mittelständig geprägte Betriebe verfügen über Holzlagerplätze, teilweise auch über Holzaufbereitungsanlagen und haben oftmals mehrere Betriebsstandorte. Teilweise sind sie durch Spezialisierungen gekennzeichnet, so z. B. nur die Aufbereitung bestimmter Holzsortimente. Die Altholzhandel- und Aufbereitungskapazitäten dieser Gruppe liegen bei maximal 50 kt/a. Dominiert wird der Angebotsmarkt jedoch von Großunternehmen der Entsorgungsbranche. Zu nennen sind hier beispielsweise ALBA, REMONDIS GmbH⁵, INTERSEEROH AG sowie die INTERWOOD GmbH, ein Tochterunternehmen der Pfeleiderer AG. Die INTERWOOD GmbH handelt als Marktführer jährlich ca. 1,1 Mio. t stoffliches und ca. 1,5 Mio. t thermisches Gebrauchtholz /73/.

Das große Altholzmarktvolumen dieser vier Unternehmen wurde in den letzten Jahren durch Firmenzukäufe und Firmenübernahmen weiter gesteigert. So übernahm REMONDIS AG & Co. KG beispielsweise im Jahr 2004 insgesamt 70 % des Geschäftsvolumens der RWE Umwelt AG /75/ und die INTERSEEROH weitere Holzkontore /76/. Auch die Insolvenzen zweier großer Holzhändler im Jahr 2003 haben zur weiteren Marktkonzentration geführt.

⁵ bis Ende 2004 RETHMANN Entsorgungs AG & Co. KG

Einen Überblick zur Struktur des Altholzmarktes gibt Abbildung 4-5, welche die Anzahl der Altholzbetriebe im Jahr 2001 und ihr Handelsvolumen sowie das Handelsvolumen 2003 aufzeigt. Auch hier wird deutlich, dass wenige große Betriebe durch hohe Handelsvolumina gekennzeichnet sind.

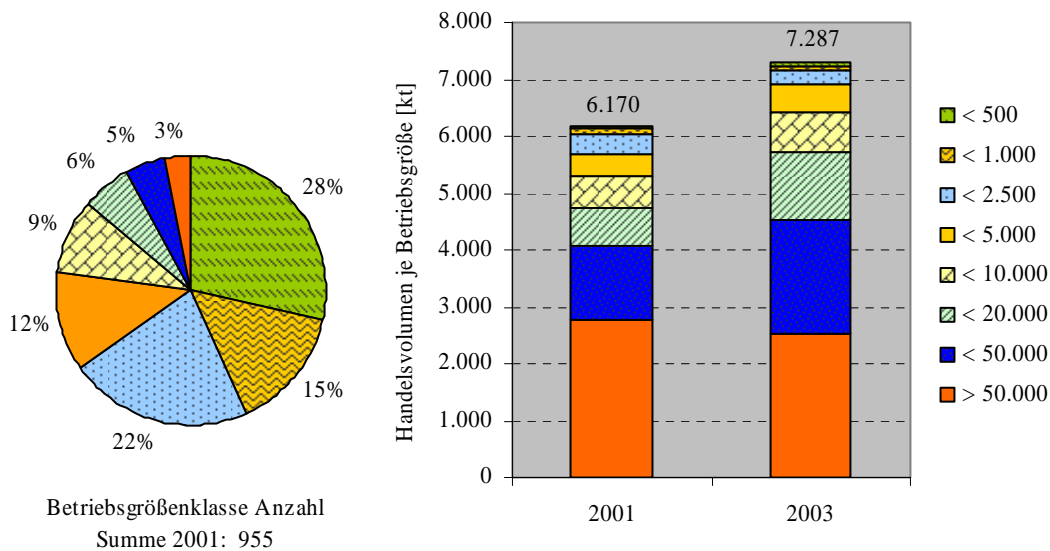


Abbildung 4-5: Altholzhandelnde Betriebe – Anzahl im Jahr 2001 und Marktvolumen 2001 und 2003 /57/

Auch der Altholznachfragemarkt ist durch verschiedenartige Strukturen gekennzeichnet. Im Bereich der Holzwerkstoffindustrie (insbesondere der Spanplattenindustrie) sind nur wenige Unternehmen aktiv. Zu nennen sind hier insbesondere die Pfeleiderer AG und die Glunz AG. Auch hier haben sich durch Übernahmen (z. B. Kunz Gruppe durch die Pfeleiderer AG im Jahr 2005) Marktkonzentrationen ergeben, was auch Rückwirkungen auf die Rohstoffbeschaffung hat.

Im Bereich der energetischen Verwertung von Althölzern lassen sich vorrangig betriebliche Betreiber, unabhängige Kraftwerksbetreiber und große Energieversorgungsunternehmen bzw. ihre Tochtergesellschaften unterscheiden. Betriebliche Betreiber – welche zumeist in der Holzindustrie angesiedelt sind – haben i. d. R. nur geringe Anlagenkapazitäten (mit Ausnahme der Holzwerkstoffindustrie) und es werden überwiegend Holzabfälle aus eigener Produktion verfeuert. Diese Anlagen beeinflussen den Altholzmarkt kaum. Ein (eher größerer) unabhängiger Betreiber ist z. B. die PROKON Nord Energiesysteme GmbH mit Kraftwerken an den Standorten Papenburg und Emlichheim. Hinsichtlich der Höhe der Altholznachfrage jedoch insbesondere relevant sind die großen Energieversorgungsunternehmen, die teilweise das Geschäftsfeld Erneuerbare Energien in Tochtergesellschaften ausgelagert haben. So betreibt die Harpen AG, im RWE-Konzern für regenerative Energien, Nahwärmeservice und Energie-Contracting verantwortlich, insgesamt vier Biomassekraftwerke (in Kehl Bergkamen, Kirchhunden und Berlin) und die E.ON Kraftwerke AG betreibt Altholzkraftwerke in Landesbergen, Emden und Zolling. Zu nennen sind auch die MVV und die STEAG Saar Energie AG ebenfalls mit mehreren Kraftwerksstandorten. Der Altholzbedarf der

aufgeführten Unternehmen liegt zwischen 300 bis 600 kt/a (in Summe etwa 2 Mio. t/a). Damit wird ein beträchtlicher Teil des gesamten Altholzeinsatzes zur Stromerzeugung durch diese Unternehmen gebunden mit möglicherweise Konsequenzen für kleine unabhängige Kraftwerksbetreiber.

4.4 Ökonomische Aspekte

Die Wirtschaftlichkeit von Projekten zur Altholzverstromung ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Die wesentlichsten werden nachfolgend aufgeführt und später detaillierter erläutert. Zu beachten ist, dass die einzelnen Kriterien zumeist nicht losgelöst betrachtet werden können, sondern sie häufig in (starker) Abhängigkeit zueinander stehen. Nachfolgende Aspekte sind für die Wirtschaftlichkeit von Altholzkraftwerksprojekten besonders relevant:

- * Brennstoffkosten (Preissituation),
- * Technologien/ Investitionskosten/ Finanzierung,
- * Betriebskosten (insbesondere Wartung und Instandhaltung),
- * Strom- und Wärmeerlöse.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen auf der Basis von Althölzern werden daher zunächst die Preisentwicklung und aktuelle Situation im Hinblick auf die Brennstoffkosten diskutiert, bevor eine Betrachtung der spezifischen Stromgestehungskosten für bestehende Anlagen und Neuanlagen erfolgt.

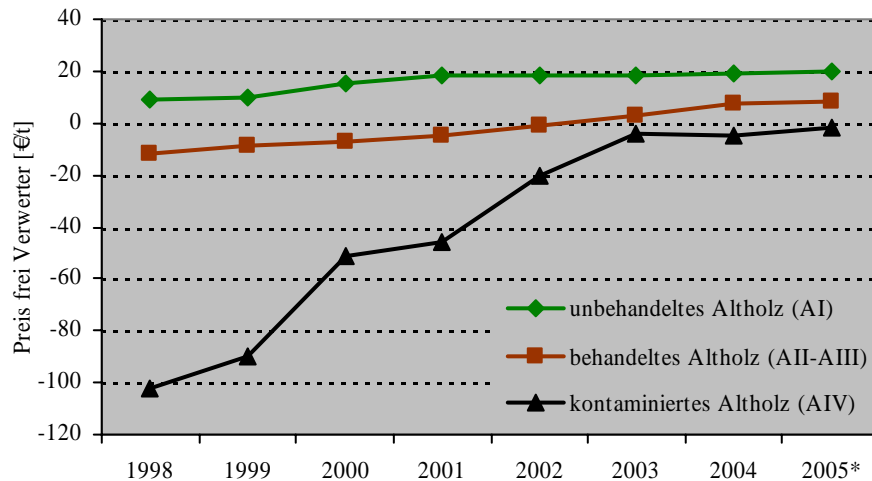
4.4.1 Preissituation

Die Höhe der Brennstoffkosten besitzt einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines Altholzverstromungsprojekts. Sie werden hauptsächlich von folgenden Faktoren bestimmt:

- * Einsetzbare Hölzer, d. h. deren Altholzklassen und jeweiligen Altholzpreise,
- * Projektstandort, Brennstoffverfügbarkeit, Brennstoffkonkurrenz,
- * Art der Brennstoffbeschaffung sowie entsprechende Lieferverträge,
- * Brennstoffaufbereitung und -handling,
- * Transportentfernungen sowie relevante Transportmittel.

Die Altholzpreise sind insbesondere abhängig vom inländischen Aufkommen, der inländischen Nachfrage sowie vom Import- und Exportgeschehen. Die starke Veränderung der Altholzpreise seit 1998 zeigt Abbildung 4-6 auf. Von den Preiserhöhungen insbesondere betroffen sind die ausschließlich energetisch genutzten Sortimente A II bis A IV. Unbehandeltes Altholz (A I) hat sich dagegen vergleichsweise wenig verteuert, da es

aufgrund des Preises von Kraftwerksbetreibern in der Regel nicht nachgefragt und eingesetzt wird. Bei der Interpretation der Preisveränderungen ist zu berücksichtigen, dass sich teilweise ein sehr unterschiedliches Altholzaufkommen dahinter verbirgt (vgl. Kapitel 4.3.1).



- bei negativen Preisangaben handelt es sich um Zuzahlungen an den Verwerter

Abbildung 4-6: Entwicklung der Altholzpreise im Zeitraum 1998 bis 2005 (frei Verwerter) /77/

Die Tabelle 4-14 gibt differenziert nach Art der Althölzer und Regionen die Preisveränderungen im Zeitraum Januar 2004 bis Januar 2006 wieder. Das Jahr 2004 war trotz weiterhin eingeschränkter Baukonjunktur durch ein leicht erhöhtes Mengenaufkommen gegenüber 2003, insbesondere durch weitergehende Umsetzung der AltholzV mit einhergehendem Deponierungsverbot von Althölzern, gekennzeichnet. Durch das seit 01.06.2005 geltende Ablagerungsverbot und der umfassenderen Abfallsortierung hat sich auch das Mengenaufkommen, wenn auch teilweise in fragwürdiger Qualität, deutlich erhöht /78/. Der Bundesverband der Altholzaufbereiter ermittelte im Zeitraum Juli bis Ende September 2005 einen Zuwachs des Mengenaufkommens gegenüber dem Vorjahr von durchschnittlich 22,5 % (etwa 0,5 bis 1 Mio. t) /84/. Entsprechend ist seit Mitte 2005 auch ein (teilweise deutlicher) Rückgang der Preise für behandelte und kontaminierte Althölzer zu verzeichnen.

Tabelle 4-14: Verwerter-Ankaufpreise für verschiedene Altholzsortimente und Regionen /78/ ff.

| [€/t] | Januar 2006 | Oktober 2005 | Juli 2005 | Januar 2005 | Oktober 2004 | Juli 2004 | Januar 2004 |
|-------------------------------|----------------|-----------------|--------------|----------------|-----------------|--------------|----------------|
| <i>Unbehandeltes Altholz</i> | | | | | | | |
| Hackschnitzel (0-150 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | 23-32 | 23-32 | 23-32 | 23-32 | 20-30 | 20-28 | 20-28 |
| - Nordwesten | 25-32 | 25-30 | 25-30 | 22-32 | 20-30 | 20-27 | 20-28 |
| - Süden | 20-30 | 23-30 | 23-30 | 23-32 | 20-30 | 20-30 | 20-30 |
| vorgebrochen (0-300 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | 12-18 | 12-18 | 12-18 | 13-18 | 12-17 | 10-16 | 10-16 |
| - Nordwesten | 12-17 | 12-17 | 12-17 | 10-17 | 9-15 | 5-13 | 8-15 |
| - Süden | 10-17 | 10-17 | 10-17 | 12-18 | 12-18 | 12-18 | 12-20 |
| <i>Behandeltes Altholz</i> | | | | | | | |
| Hackschnitzel (0-150 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | 5-15 | 8-14 | 10-18 | 10-19 | 8-16 | 5-18 | 12-23 |
| - Nordwesten | 5-13 | 7-14 | 10-16 | 10-17 | 8-15 | 8-15 | 10-15 |
| - Süden | 3-12 | 7-15 | 7-17 | 7-18 | 7-15 | 5-12 | 7-15 |
| vorgebrochen (0-300 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | -4-8 | -2-8 | 0-9 | -1-10 | -2-8 | 0-10 | 0-12 |
| - Nordwesten | -8-5 | -6-5 | -6-5 | -7-5 | -10-3 | -10-3 | -5-3 |
| - Süden | -9-6 | -6-7 | -6-8 | -5-8 | -7-5 | -7-5 | -5-5 |
| <i>Kontaminiertes Altholz</i> | | | | | | | |
| Hackschnitzel (0-150 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | -7-15 | -5-14 | -5-18 | -8-19 | -8-14 | -8-12 | -5-10 |
| - Nordwesten | -9-13 | -8-13 | -5-13 | -8-12 | -8-12 | -10-7 | -8-5 |
| - Süden | -8-12 | -6-15 | -6-15 | -8-14 | -10-14 | -10-5 | -10-5 |
| vorgebrochen (0-300 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | -10-2 | -10-4 | -10-5 | -10-5 | -15-5 | -10-3 | -10-4 |
| - Nordwesten | -20-2 | -20-3 | -20-5 | -25-7 | -25-7 | -25-7 | -25-0 |
| - Süden | -15-0 | -15-0 | -15-0 | -20-0 | -25-0 | -20 - - 5 | -15- -5 |

4.4.2 Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung

Technologiespezifische Investitionskosten und Finanzierung

Die Investitionskosten von Biomasseprojekten sind von zahlreichen Faktoren abhängig. Zu nennen sind insbesondere die Anlagengröße, die Marktverhältnisse sowie die eingesetzten Technologien. Veröffentlichte Angaben zu Investitionskosten sind mit (z. T. großen) Unsicherheiten behaftet, was bei der Ergebnisinterpretation zu berücksichtigen ist.

Die Abbildung 4-7 veranschaulicht die spezifischen Investitionskosten verschiedener im Zeitraum 2001 bis 2005 in Betrieb gegangener Projekte. Deutlich sichtbar wird die Kostendegression in Abhängigkeit von der Anlagengröße (sog. Effekt von „Economy of Scale“). Gleichfalls ist infolge dessen auch in den letzten Jahren eine stärkere Tendenz zu größeren Projekten erkennbar. Die Anlagengröße kann insgesamt als ein wesentlicher Faktor für die Wirtschaftlichkeit angesehen werden. Hinsichtlich der zeitlichen Veränderung der Investitionskosten sind jedoch auf Basis dieser Kostenaufstellung keine weitergehenden Aussagen möglich. Anlagenplaner schätzen ein, dass die Kosten der Kraftwerkshauptkomponenten sich in den letzten Jahren kaum verändert haben /85/, /86/. Auch die Marktverhältnisse in den letzten Jahren ließen keine Kostensenkungen erwarten, da z. B. durch Insolvenzen weitere Konzentrationsprozesse bei Generalunternehmern und Hauptkomponentenherstellern stattfanden und auch in den letzten Jahren gleich bleibend ein Nachfragemarkt existierte. Vergleicht man die eingesetzten Feuerungstechnologien der 20 MW_{el}-Biomasse(heiz)kraftwerke der letzten Jahre lässt sich ein gewisser Trend zur Wirbelschichttechnik erkennen.

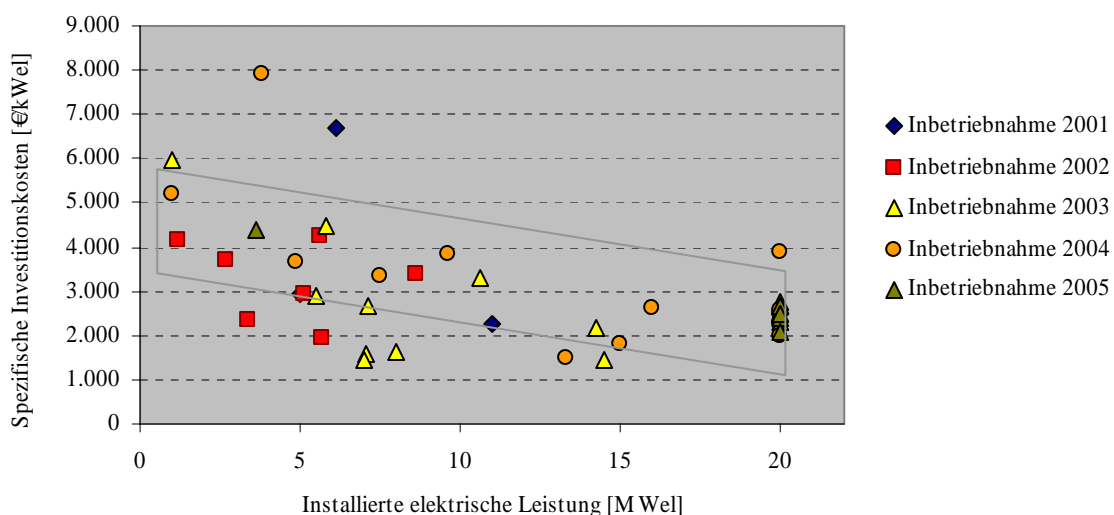


Abbildung 4-7: Spezifische Investitionskosten von im Zeitraum 2001 bis 2005 realisierten Biomasse(heiz)kraftwerken auf Altholzbasis

Auch Projektfinanzierungen wurden bislang sehr unterschiedlich gehandhabt. Die Finanzierung der in den letzten Jahren umgesetzten KWK-Projekte erfolgte bei KMUs teilweise im Rahmen des KfW-Programms erneuerbare Energien mit zinsverbilligten Darlehen und Teilschuldenerlass. Einige eher kleine KWK-Vorhaben, die vorrangig A I/II-Hölzer bzw. naturbelassene Hölzer einsetzen, wurden auch innerhalb von Länderprogrammen (z. B. in Bayern, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern) bezuschusst.

Auch die Eigenkapitalaufbringung geschieht auf sehr unterschiedlichem Wege, am häufigsten auf Basis vorhandenen Kapitals (insbesondere bei den EVU). Anzutreffen sind jedoch auch Fondsmodelle (z. B. Vorhaben der Plambeck AG in Silbitz /87/ und Finanzierung durch

Auflage eines Genussscheines (z. B. Projektträger: Prokon Energiesysteme Nord /88/). Je nach Projektinitiator sehr unterschiedlich sind ebenfalls die Ansprüche an die Eigenkapitalverzinsung.

Stromgestehungskosten

Neben der Investitionskostenhöhe, den Brennstoffkosten und der Art der Finanzierung werden die Stromgestehungskosten auch von den laufenden Betriebskosten bestimmt. Relevant sind hierbei insbesondere die Wartung- und Instandhaltungskosten. Diese sind im Kontext der Investitionskosten zu sehen und sie sind teilweise stark technologieabhängig.

Strom- und Wärmeerlöse stellen die Einnahmeseite des laufenden Betriebes eines Altholzkraftwerkes dar. Die Höhe der Einnahmen aus dem Stromverkauf ist von der Anlagengröße und den Betriebsstunden abhängig. Die Wärmeerlöse werden vom Umfang und Art der Wärmeauskopplung sowie der Wärmenachfrage bestimmt. Untersuchungen haben gezeigt, dass eine zusätzliche Wärmeauskopplung bei Altholzkraftwerken und damit zusätzliche Erlöse die leichte Verringerung der Stromvergütung i. d. R. immer (deutlich) überkompensieren /89/, /90/ Das ist umso stärker bei Projekten der Fall, die eine umfassende gleichbleibende Wärmeauskopplung aufgrund der Nähe zu einem entsprechenden Industriebetrieb realisieren konnten. Dies trifft jedoch nur für einen kleineren Teil für die in den letzten Jahren realisierten Altholz(heiz)kraftwerke zu. Hohe gleichbleibende Wärmeauskopplungen sind als ein wesentlicher Projekterfolgswert anzusehen. Werden die Wärmeerlöse weitgehend im Wettbewerb über den anlegbaren Wärmepreis bestimmt, basieren die Stromerlöse auf die im EEG festgelegten spezifischen Einspeisevergütungen. Im Rahmen der EEG-Novelle 2004 wurde das Vergütungsmodell weiter verfeinert, eine noch stärkere Differenzierung der Vergütungshöhe in Abhängigkeit von der Anlagengröße vorgenommen und zusätzliche Anreize für bestimmte Brennstoffe (im Falle der Altholzklassen A III/IV auch Nichtanreize), der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung sowie dem Einsatz innovativer Technologien geschaffen. Aufgrund der im Zeitablauf stark differierenden Vergütungsausgestaltung sowie der Vergütungsdegression im Kontext von Neuanlagen sind die Stromvergütungen und damit insgesamt die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für ein Kraftwerksprojekt auf Basis von Althölzern stark vom Inbetriebnahmejahr abhängig. Das erklärt auch den Umstand, dass viele Projekte versuchen, noch rechtzeitig zum Jahresende den ersten Strom ins Netz einzuspeisen.

Folgende Festlegungen sind im Rahmen der EEG-Novelle 2004 für die **Vergütung auf Basis von Althölzern** getroffen worden (vgl. Tabelle 4-15): Für Althölzer der Kategorie A III/IV entspricht die Vergütungshöhe bei Inbetriebnahmen bis 29. Juni 2006 der Biomassegrundvergütung, ab Juli 2006 erfolgt dann eine deutliche Reduktion. Boni werden dann ebenfalls nicht mehr gezahlt. Die Regelung steht im Kontext von § 2 Absatz 3 Satz 2 BiomasseV, dass nur die A III/IV-Hölzer einsetzenden Kraftwerke EEG-vergütungsberechtigt sind, die bis 28. Juni 2004 eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung besaßen. Die Vergütung für Strom aus Anlagen der A I/II-Hölzern, entspricht der Grundvergütung für Biomasseanlagen mit einer jährlichen Degression bei Neuanlagen von 1,5 %. Die Anlagen

sind zudem KWK-bonusberechtigt. Die Zahlung des KWK-Bonus erfolgt jedoch nur für den tatsächlich in KWK produzierten Strom. Zudem können sie auch den Technologiebonus erlangen, der dann jedoch für die gesamte Strommenge gezahlt wird.

Tabelle 4-15: Vergütung nach EEG für Strom auf Basis von Hölzer der Kategorie A I/II (Klammerwerte A III und A IV-Hölzer) in Abhängigkeit vom Inbetriebnahmejahr

| Jahr der Inbetriebnahme | EEG-Mindestvergütung (Grundvergütung) leistungsgestaffelt bis je einschließlich [€/kWh] | | | | KWK-Bonus ^b [€/kWh] | Technologie-Bonus ^c [€/kWh] |
|-------------------------|---|----------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------------|---|
| | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 5 MW _{el} | 20 MW _{el} | | |
| 2004 | 11,50 | 9,90 | 8,90 | 8,40 | 2,00 | 2,00 |
| 2005 | 11,33 | 9,75 | 8,77 | 8,27 | 2,00 | 2,00 |
| 2006 ^a | 11,16 (3,78) | 9,60 (3,78) | 8,64 (3,78) | 8,15 (3,78) | 2,00 (0,00) | 2,00 (0,00) |
| 2007 | 10,99 (3,72) | 9,46 (3,72) | 8,51 (3,72) | 8,03 (3,72) | 2,00 (0,00) | 2,00 (0,00) |
| 2008 | 10,83 (3,66) | 9,32 (3,66) | 8,38 (3,66) | 7,91 (3,66) | 2,00 (0,00) | 2,00 (0,00) |
| 2009 | 10,67 (3,61) | 9,18 (3,61) | 8,25 (3,61) | 7,79 (3,61) | 2,00 (0,00) | 2,00 (0,00) |
| 2010 | 10,51 (3,56) | 9,04 (3,56) | 8,13 (3,56) | 7,67 (3,56) | 2,00 (0,00) | 2,00 (0,00) |

^a Angaben in Klammern gelten für Inbetriebnahmezeitpunkte ab dem 1. Juli 2006

^b KWK – Kraft-Wärme-Kopplung für Strom im Sinne des KWK-Gesetzes

^c einmalig und nur in Verbindung mit KWK-Bonus für innovative Technologien (z. B. Trockenfermentation, Vergasung, Organic-Rankine-Cycle, Stirlingmotor, Mikrogasturbine, Brennstoffzelle)

Bestehende Biomasse(heiz)kraftwerke

Grundlage für die Betrachtung der Stromgestehungskosten bestehender Biomasse(heiz)kraftwerke bilden vier Modellfälle (d. h. Modellanlagen unterschiedlicher Anlagengröße auf der Basis konventioneller Technologien, wie Dampfmotor und Dampfturbine zur Stromerzeugung auf der Basis von Biomasseverbrennung), die bereits im Rahmen des im Jahr 2003 abgeschlossenen ersten Monitoringprojekts zur BiomasseV auf Basis der Annuitätenmethode kalkuliert wurden, d. h. unter den Randbedingungen des seinerzeit geltenden EEG. Deren wesentliche Eckdaten sind in Tabelle 4-16 zusammengefasst.

Tabelle 4-16: Wesentliche Randbedingungen und Stromgestehungskosten für Althölzer in bestehenden Biomasse(heiz)kraftwerken bei Wärmeauskopplung (Bezugsjahr 2002/2003)

| Anlagengröße (installierte elektr. Leistung) | MW _{el} | 0,5 | 1 | 5 | 20 |
|---|------------------|-------|-------|--------|--------|
| <i>Anlagentechnische Daten</i> | | | | | |
| Elektr. Wirkungsgrad | % | 12 | 20 | 25 | 30 |
| Vollbenutzungsdauer, Strom | h/a | 5.000 | 6.500 | 7.500 | 7.800 |
| Ausgekoppelte Nutzwärme (~ 33%) | MW _{th} | 1 | 2 | 7 | 20 |
| <i>Kostenkenngrößen</i> | | | | | |
| Brennstoff Biomasse | €/t | 5-35 | 5-35 | 5-35 | 5-35 |
| Bruttoinvestition | T€ | 3.350 | 5.200 | 18.000 | 48.000 |
| <i>Spezif. Stromgestehungskosten (nominal)</i> | | | | | |
| Biomassekosten 5 €/t | €/kWh | 29,0 | 18,8 | 10,5 | 6,5 |
| Biomassekosten 35 €/t | €/kWh | 36,8 | 24,8 | 15,2 | 10,3 |

Die Annahmen und Daten basierten auf den Kenntnisstand 2002/2003, als erst wenige durch das EEG initiierte Anlagen in Betrieb und längerfristige Betriebserfahrungen noch nicht vorhanden waren. Vergleicht man die seinerzeit zugrunde gelegten Randbedingungen mit dem heutigen Erkenntnisstand, lässt sich folgendes einschätzen:

- * Die möglichen **technischen Schwierigkeiten** bei der Altholzverbrennung, wurden von den Kesselbauern und den Anlagenplanern unterschätzt. Nicht wenige Anlagen haben bzw. hatten mit technischen Problemen zu kämpfen. Hauptsächlich betrifft das die Brennstoffzuführung, Verschlackungen sowie insbesondere die Korrosion /91/. In Folge dessen verringert sich die Ausnutzungsdauer der Anlagen teilweise deutlich. Wurden von den Kraftwerksbetreibern Vollbenutzungsstunden von 7.500 h bis teilweise hoch bis zu 8.000 h – die auch zum wirtschaftlichen Anlagenbetrieb erforderlich sind und Kalkulationsgrundlage waren – angestrebt, erreichen/ erreichten einige Anlagen nur 5.000 bis 6.000 Vollbenutzungsstunden. Hinzu kommt, dass aufgrund der technischen Probleme auch die Wartungs- und Instandhaltungskosten (deutlich) über den ursprünglichen Planungswerten liegen.
- * Ein weiterer Problempunkt sind die **Brennstoffkosten**. Die Altholzpreise haben sich je nach Altholzklasse gegenüber denen der Jahre 2002 bzw. 2003 weiter erhöht (vgl. Kapitel 4.4.1). Wer im Jahr 2002 seine Anlage beispielsweise ausschließlich mit A IV-Hölzern und deren damaligen Preisniveau kalkuliert hatte, sieht sich heute nicht mit mehr Entsorgungserlösen bis zu 50 €/t, sondern im Extremfall mit Preisen bis zu 5 €/t konfrontiert. Ist bei den anderen Hölzern (A II und A III) zwar keine so dramatische Entwicklung zu verzeichnen, resultieren jedoch auch dort seit dem Jahr 2001 mindestens um 10 €/t gestiegene Preise. Bei einem Brennstoffbedarf einer 20 MW_{el}-Anlage von ca. 150.000 t resultieren dadurch Mehrkosten von etwa 1,5 Mio. €/a.

- * Unterschätzt wurde vielfach auch der **Aschegehalt** der Althölzer (insbesondere bei A III/IV), der sich nicht bei etwa 5 %, sondern häufig bei über 10 % bewegt /62/, mit entsprechenden Konsequenzen für die Ascheentsorgungskosten.

Die Abbildung 4-8 gibt das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse der Wirtschaftlichkeit eines im Jahr 2003 in Betrieb genommenen 20 MW_{el}-Altholzkraftwerkes basierend auf den Annahmen und den Projektansätzen im Jahr 2002/2003 (im wesentlichen: 7500 Volllaststunden, Altholzpriß von 20 €/t aufbereitet frei Anlage, Wartung und Instandhaltung: 4 %/a der Investitionskosten) wieder /5/.

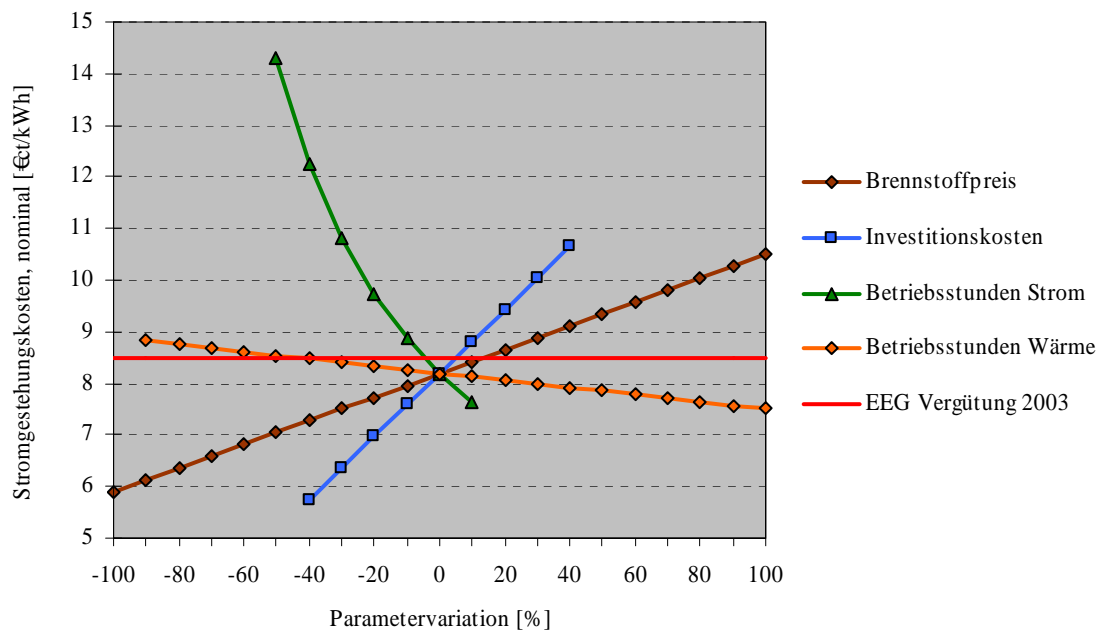


Abbildung 4-8: Sensitivitätsanalyse einzelner Faktoren auf den Stromgestehungspreis bei einem Biomasseheizkraftwerk 20 MW_{el} (Brennstoffpreis 20 €/t)

Die Stromgestehungskosten reagieren äußerst sensitiv auf die Betriebsstunden der Stromerzeugung. Minderungen nur um 10 % gegenüber dem ursprünglichen Planungsansatz führen zu um 0,5 €/t/kWh höheren Stromgestehungskosten. Da einige Anlagen jedoch nur 6.000 und teilweise noch weniger Jahresbetriebsstunden momentan erreichen (das entspricht Minderungen um 20 % und mehr) resultierenden teilweise deutlich über die Einspeisevergütung liegende Stromgestehungskosten. Erhöhungen des Brennstoffpreises um nur 10 % gegenüber der damaligen Kalkulationsbasis bringen die Anlage an den Rand der Wirtschaftlichkeit, erhöhen sich die Brennstoffpreise um 20 % gegenüber den ursprünglichen Ansatz (20 €/t) kann die Anlage nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden. Eine Erhöhung der Wartungs- und Instandhaltungskosten und der sonstigen Betriebskosten (die u. a. auch die Ascheentsorgung beinhalten) beeinflussen die Wirtschaftlichkeit nicht so stark (negativ) wie der Umfang der Stromerzeugung und hohe Altholzpriße. Der entscheidende Punkt ist jedoch, dass bei „notleidenden Projekten“ i. d. R. nicht ein die Wirtschaftlichkeit minimierender Faktor isoliert vorhanden ist, sondern die Negativfaktoren (geringe Stromerzeugung, höhere

Altholzpreise, höhere Betriebskosten) zumeist gleichzeitig auftreten. So resultieren für ein 20 MW_{el}-Kraftwerk beispielsweise bei einer nur 6.000 Stunden umfassenden Strombetriebsdauer, einen um 10 % höheren Altholzpreis (22 €/t) und bei 30 % höheren Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie doppelt so hohen Ascheentsorgungskosten Stromgestehungskosten in einer Höhe von fast 12 €/t/kWh_{el} und sie liegen damit um fast 40 % über dem ursprünglichen Planungsansatz. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass eine derart reduzierte Anlagenauslastung nicht über die gesamte Kalkulationsdauer anzunehmen ist, sondern durch technische Maßnahmen mit entsprechenden Kosten durchaus wesentliche Verbesserungen erreicht werden (können und müssen). Trotzdem bleibt der Einfluss beträchtlich. Die Wirkung eines über die Planung liegenden Altholzpreises und deutlich höhere Ascheentsorgungskosten können jedoch eher als dauerhaft angesehen werden.

Neuanlagen

Nachfolgend soll die Wirtschaftlichkeit von im Jahr 2005 und in den Folgejahren in Betrieb gehende Anlagen auf Basis von Altholz diskutiert werden. Zu unterscheiden sind dabei Projekte, die noch unter den Randbedingungen des EEG 2000 konzipiert, sowie Vorhaben, die auf Basis der Regelungen im neuen EEG geplant wurden, da sich für bestimmte Anlagenkonfigurationen bei zwar gleicher bzw. ähnlicher Grundvergütung (bei späteren Inbetriebnahmezeitpunkten) durch die Boni (vgl. Tabelle 4-15) deutlich andere Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeit ergeben können und dadurch auch ggf. andere technische Ausprägungen resultieren. So befördert der Technologiebonus im Leistungsbereich 0,5 MW_{el} eher ORC-Anlagen.

Erste Indizien zur momentanen und zukünftigen Wirtschaftlichkeit von Altholzkraftwerken lassen sich aus den aktuellen Planungsständen und den in Bau befindlichen Anlagen ableiten. Momentan sind noch einige große Altholzkraftwerke im Bau, die spätestens zur Jahresmitte 2006 in Betrieb gegangen sind. Diese Anlagen wurden i. d. R. bereits auf Basis höherer Altholzpreise als früher kalkuliert. Da sie aufgrund der Degression zudem geringere EEG-Vergütungen als vorangegangene Projekte erhalten, lässt sich einschätzen, dass die Projekttrandbedingungen teilweise deutlich günstiger als bei früheren Projekten (z. B. erschlossene Standorte, höhere Wärmeauskopplungen) sein müssen: Da es sich bei den Projektträgern häufig um Unternehmen mit unterdessen weit reichenden Erfahrungen in diesem Bereich handelt, kommen auch verstärkt Lerneffekte zum Tragen.

Hinsichtlich weiterer möglicherweise nach dem 30. Juni 2006 realisierter Vorhaben auf Basis A III/IV-Hölzern sind zwei (jedoch eher theoretische) Fälle zu unterscheiden:

- * Der erstere betrifft Vorhaben, die bereits vor dem 28.06.2004 die immissionsschutzrechtliche Genehmigung erlangt haben, bei denen dann A III/IV-Hölzer weiterhin als Biomasse anerkannt werden und der erzeugte Strom damit auch EEG-vergütungsberechtigt ist. Da jedoch die Vergütung auf 3,76 €/t/kWh_{el} und in den Folgejahren weiter abgesenkt wird (vgl. Tabelle 4-15) ist selbst bei optimalsten

Randbedingungen (bei minimalen Stromgestehungskosten von 7 €/kWh_{el}) keine Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

- * Fall zwei charakterisiert Projekte, die erst nach dem 28.06.2004 die immissionsschutzrechtliche Genehmigung erhielten. Diese Vorhaben fallen dann nicht mehr unter das EEG und sind bei möglichen spezifischen Stromerlösen in einer Größenordnung von 2 bis 3 €/kWh_{el} noch weiter als Fall 1 von einer Wirtschaftlichkeit entfernt.

Fazit - vom Gesetzgeber so auch gewollt /93/ - ist, dass nach dem 30. Juni 2006 keine Kraftwerke auf Basis von A III/IV-Hölzern mehr in Betrieb gehen werden. Gegebenenfalls erfolgt(e) bei bereits bestehenden Planungen ein Wechsel auf A I/II-Hölzern bzw. auf NawaRos.

Neben den wenigen noch in der Realisierung befindlichen Kraftwerken auf A III/IV-Basis befinden sich einige ORC-Anlagen vorwiegend im Leistungsbereich 0,5 bis 1 MW_{el}. in Planung bzw. Bau. Schwerpunktartig ist dort der Einsatz von NawaRo geplant, in einigen Fällen jedoch auch der Einsatz von A I/II. Daneben sind auch vereinzelte größere Dampfturbinen-Verstromungsprojekte auf Basis A I/II-Hölzern in der Entwicklung bzw. Planung. Ein „Massengeschäft“ - so wie im Biogasbereich seit der EEG-Novelle resultierte - ist im Bereich fester Biomasse (und Althölzern) jedoch nicht zu beobachten. Vielmehr handelt es sich um Projekte, die wohl durch besondere (besonders gute) Bedingungen gekennzeichnet sind, so die Erweiterung bestehender Heizwerke bzw. andere Einsatzfälle mit (sehr) hoher gleichmäßiger Wärmeauskopplung. Insgesamt gestaltet es sich aufgrund der Projektmanigfaltigkeit sehr schwierig, allgemeingültige Aussagen zur Wirtschaftlichkeit zu treffen.

Auf Grundlage von vier Modellfällen (d. h. innovative Technologie, wie z. B. ORC im kleinen Leistungsbereich von 0,5 MW_{el} sowie konventionelle Technologien, wie z. B. Dampfmaschinen und Dampfturbinen im Leistungsbereich von 1, 5 und 20 MW_{el}) sollen jedoch dennoch wenigstens einige grundsätzliche Aspekte aufgezeigt werden. Diese Referenzfälle decken ein breites Spektrum möglicher Neuanlagen ab. Die einzelnen momentan ebenfalls anvisierten Projekte auf Technologiebasis Vergasung und Stirlingmotor besitzen (immer noch) Pilot- und Demonstrationscharakter. Allgemeingültige Aussagen zur Wirtschaftlichkeit sind dazu kaum möglich (z. B. bestehen sehr große Unsicherheiten bzgl. der technischen Lebensdauer und der Höhe der Wartungs- und Instandhaltungskosten) und eine breite Wirtschaftlichkeit ist auch trotz verbesserter Rahmenbedingungen (NawaRo-, KWK- und Technologie-Bonus) kurzfristig nicht zu erwarten.

Die Tabelle 4-17 zeigt die wesentlichsten Parameter und die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf, die auf Basis der Annuitätenmethode ermittelt wurden. Zu beachten ist, dass die Brennstoffkostenspannbreiten bei den einzelnen Referenzfällen unterschiedlich sind. Die beiden Kleinprojekte können vielfach kostengünstig Abfallholz

(z. B. aus ihrem eigenen Betrieb) nutzen, die beiden größeren Anlagen sind jedoch in der Regel auf teurere Fremdlieferungen (Transportkosten inklusive) angewiesen.

Tabelle 4-17: Randbedingungen und Stromgestehungskosten für Althölzer A I/II in Biomasse(heiz)kraftwerken bei Wärmeauskopplung (Bezugsjahr 2005)

| Anlagengröße (installierte elektr. Leistung) | MW _{el} | 0,5 | 1 | 5 | 20 |
|--|------------------|-------|--------|--------|---------|
| Anlagentechnische Daten | | | | | |
| Heizwert Altholz I/II ^a | MJ/kg | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Elektr. Wirkungsgrad | % | 12 | 20 | 25 | 30 |
| Vollbenutzungsdauer, Strom | h/a | 5.000 | 6.500 | 7.500 | 7.800 |
| Feuerungswärmeleistung | MW _{th} | 5,8 | 7,7 | 29,7 | 95,3 |
| Ausgekoppelte Nutzwärme (~ 33%) | MW _{th} | 1 | 2 | 7 | 20 |
| Jährlicher Brennstoffverbrauch | t/a | 7.913 | 12.483 | 50.618 | 172.253 |
| Arbeitsaufwand | h/d | 2 | 3 | 5 | |
| Personalbedarf | Mann | 3 | 6 | 12 | 18 |
| Kostenkenngrößen | | | | | |
| Kalkulat. Betrachtungsdauer | a | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Kalkulat. Mischzinssatz (real) ^b | %/a | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,1 |
| Brennstoff Altholz A I/II ^c | €/t | 0-20 | 0-20 | 10-30 | 10-30 |
| Wärmevergütung | €/MWh | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Spez. Personalkosten (pro Person) | T€/a | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Spez. Instandhaltungskosten ^d | %/a | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| Spez. Kosten für Versicherung, Verwaltung, Pacht ^d | %/a | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Spez. sonstige variable Kosten ^d | %/a | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Bruttoinvestition | T€ | 3.350 | 5.200 | 18.000 | 48.000 |
| Spezif. Stromgestehungskosten (real) | | | | | |
| Altholz I/II, 0 bzw. 10 €/t | €/kWh | 26,4 | 16,8 | 10,1 | 6,9 |
| Altholz I/II, 20 bzw. 30 €/t | €/kWh | 31,4 | 19,8 | 12,5 | 8,9 |
| Spezif. Stromgestehungskosten (nominal) | | | | | |
| Altholz I/II, 0 bzw. 10 €/t | €/kWh | 24,5 | 14,8 | 10,4 | 7,1 |
| Altholz I/II, 20 bzw. 30 €/t | €/kWh | 31,7 | 19,4 | 13,5 | 9,6 |

^a 3,6 MWh/t, Wassergehalt: 27 %

^b 30 % Eigenkapital, 70 % Fremdkapital sowie Preissteigerung von 2%/a

^c Wie o. g. sind Anlagen im Leistungsbereich von bis zu 1 MW_{el} eher im Bereich der Holzindustrie anzusiedeln, wodurch sich infolge minderer Transportentfernungen günstigere Brennstoffpreise ergeben.

^d bezogen auf Bruttoinvestition

In Abbildung 4-9 sind die nominalen Stromgestehungskosten für die Stromerzeugung aus fester Biomasse in Abhängigkeit von der Anlagengröße unter Verwendung von A I/II-Hölzern dargestellt; zudem die Grundvergütung nach EEG für das Jahr 2005 sowie inklusive KWK-Bonus. Mit zunehmender Anlagenleistung sinken die Stromgestehungskosten deutlich ab. Sichtbar wird ebenfalls, dass im sehr kleinen Leistungsbereich die Stromgestehungskosten wesentlich schneller steigen als die Einspeisevergütung.

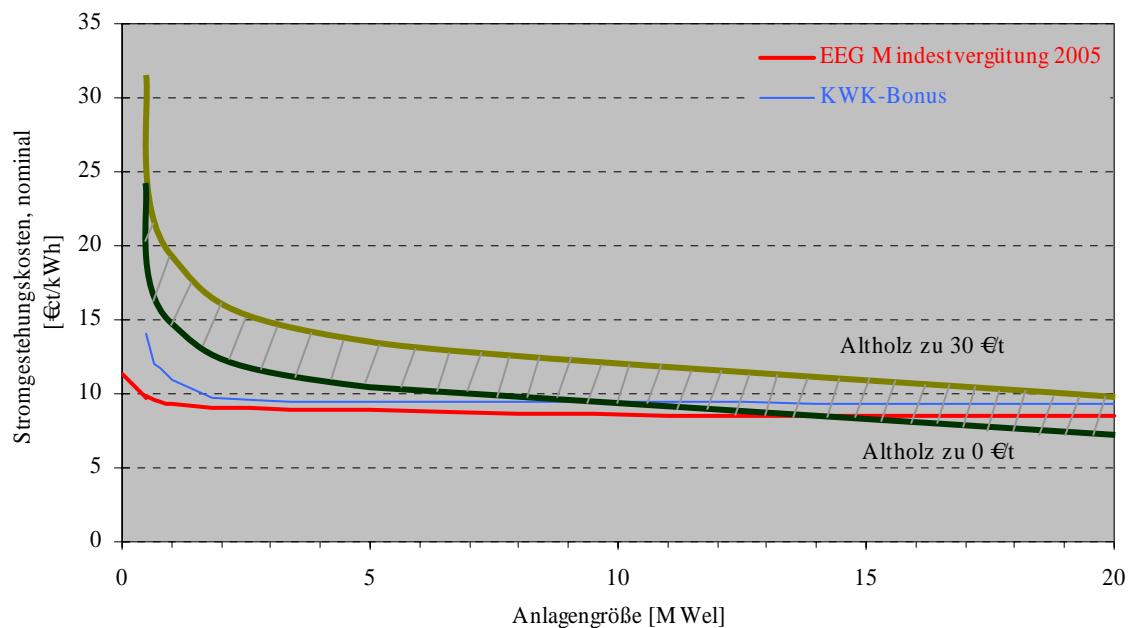


Abbildung 4-9: nominale Stromgestehungskosten für Altholz in Biomasse(heiz)kraftwerken in Abhängigkeit von der Anlagengröße; Annahme Brennstoffpreis: 0 bis 30 €/t für Altholz A I/II

Die beiden kleinen Anlagen sind unter den getroffenen Randbedingungen selbst bei günstigen Brennstoffkosten deutlich von einer Wirtschaftlichkeit entfernt. Das ändert sich für den Fall, wo nicht nur ein Drittel (wie unterstellt), sondern deutlich mehr der erzeugten Wärme auch genutzt bzw. verkauft werden kann. Produziert die ORC-Anlage beispielsweise 6.000 Stunden im Jahr gleichzeitig Strom und Wärme und kann etwa 80 % der erzeugten Wärme genutzt werden, dann ist mit der resultierenden EEG-Vergütung von 14,22 ct/kWh_{el} ein wirtschaftlicher Anlagenbetrieb möglich. Es wird in Deutschland einige Einsatzfälle geben, wo derartige Voraussetzungen gegeben sind. Die Wirtschaftlichkeit der Vorhaben verbessert sich deutlich mit der Größe. Das 5 MW_{el}-Altholzkraftwerk ist auch bei geringen Brennstoffkosten noch relativ weit von der Wirtschaftlichkeit entfernt, was sich aber auch bei höheren Wärmeauskopplungen leicht ändern kann. Bei der 20 MW_{el}-Anlage ist bei niedrigen Brennstoffpreisen ein kostendeckender Betrieb möglich.

Inwieweit die Änderung der für die Berechnung angenommenen Parameter und Randbedingungen (Annahme Brennstoffpreis: 20 €/t) die Stromgestehungskosten beeinflussen, ist in beispielhaft für ein 5 MW_{el}-Biomasseheizkraftwerk dargestellt. Dieses Referenzsystem wurde im Gegensatz zu den Betrachtungen für bestehende Kraftwerke gewählt, da aufgrund der Standortbedingungen in Zukunft der Bau kleinerer Anlagen mit höherer Wärmeauskopplung wahrscheinlicher ist. Vor allem die Vollbenutzungsstunden der Stromerzeugung und der Brennstoffpreis haben einen wesentlichen Einfluss auf die Stromgestehungskosten. Bis zu einem Brennstoffpreis von ca. 4 €/t kann ein solches Biomasse(heiz)kraftwerk wirtschaftlich betrieben werden. Die Veränderung der Volllaststunden hat mit Abstand den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

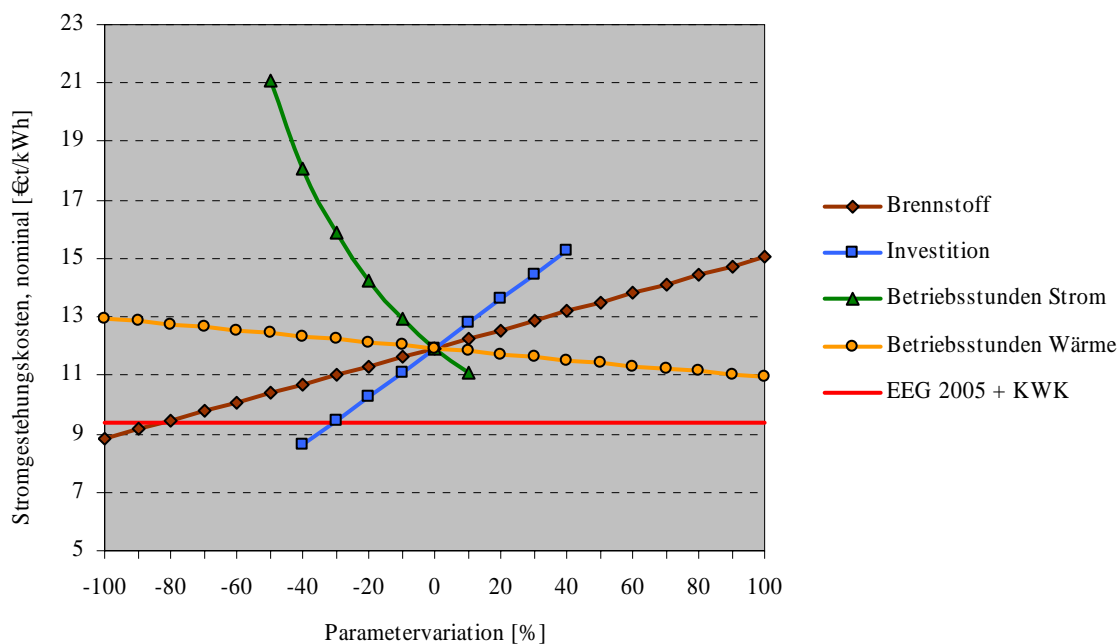


Abbildung 4-10: Sensitivitätsbetrachtung einzelner Faktoren auf den Stromgestehungspreis bei einem Biomasse(heiz)kraftwerk 5 MW_{el}; Annahme Brennstoffpreis: 20 €/t

Kalkulatorische Rahmenbedingungen, wie u. a. Zinssatz, Personalkosten, Betrachtungsdauer sind hingegen von zu vernachlässigendem Einfluss auf die Stromgestehungskosten.

4.5 Abschätzung zukünftiger Entwicklungen

Der Umfang der zukünftigen Stromerzeugung auf Basis von Altholz wird von einer Vielzahl von Einflüssen bestimmt. Wesentliche Faktoren werden nachfolgend mit Bezug zu (i) rechtlichen, (ii) Altholzaufkommenseitigen und (iii) Altholznachfrageseitigen Aspekten diskutiert.

4.5.1 Gesetzliche Randbedingungen

Das EEG besitzt zusammen mit der BiomasseV den wesentlichsten Einfluss auf den zukünftigen Umfang der Stromerzeugung auf der Basis von Althölzern. Aufgrund der starken Differenzierung im EEG und der BiomasseV zwischen A I/II- sowie A III/IV-Hölzern ist auch an dieser Stelle eine gesonderte Betrachtung angeraten.

Wie bereits aufgeführt, ist eine zukünftige EEG-Förderung der Verstromung von A III/IV-Hölzern und deren Höhe vom Zeitpunkt der Erlangung der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung sowie der Anlageninbetriebnahme abhängig. Da die Randbedingungen jedoch sehr eindeutig formuliert und klar ausgestaltet sind (z. B. sehr geringe Vergütungshöhe für nach dem 30. Juni 2006 in Betrieb gehende A III/IV-Stromerzeugungsanlagen), lassen sich die Wirkungen relativ leicht abschätzen. Demnach werden die letzten Kraftwerke mit Verwendung von A III/IV-Hölzern in der ersten Jahreshälfte 2006 in Betrieb gehen, da bei

später fertig gestellten Anlagen – unabhängig vom Zeitpunkt der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung – die Stromerlöse einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb nicht annähernd ermöglichen (vgl. Kapitel 4.4.2).

Für Neuanlagen auf Basis von A I/II-Hölzern lassen sich derlei richtungsweisende Aussagen nicht treffen, da diese weiterhin die Grundvergütung für Biomassestrom erhalten und zudem auch bonusberechtigt bei Einsatz von KWK oder innovativen Technologien sind.

Die Abfallwirtschaft in Deutschland befindet sich seit Jahresmitte 2005 in einem großen Umbruch, auch hinsichtlich der zukünftigen Ausprägung von Stoffströmen, u. a. auch dem von Altholz. Waren die Wirkungen der abfallrechtlichen Bestimmungen auf die Altholzströme aufgrund von Ausnahmetatbeständen (z. B. Deponierung von Althölzern auch nach Inkrafttreten der AltholzV) bzw. Wahlmöglichkeiten hinsichtlich der Trennung von Althölzern in der GewerbeabfallV vielfach nicht eindeutig bestimmbar. Das hat sich mit dem 01. Juni 2005 geändert. Seit diesem Zeitpunkt werden weder separat erfasste Althölzer noch Holz in Abfallgemischen deponiert. Der Druck zur Getrennterfassung/-haltung auch von Hölzern hat sich aufgrund der Engpässe bei den Beseitigungskapazitäten nochmals deutlich erhöht. Folge ist ein spürbar gestiegenes Altholzaufkommen gegenüber den Vorjahren; dies geht einher mit mitunter stark schwankenden Brennstoffqualitäten und generell zu verzeichnenden höheren Stör- und Fremdstoffanteilen im Altholz.

4.5.2 Altholzaufkommen und -verfügbarkeit

Das Aufkommen und die Verfügbarkeit von Althölzern ist nicht statisch zu sehen, sondern im Zeitverlauf deutlichen Veränderungen unterworfen. Wesentliche Bestimmungsfaktoren dafür sind z. B. die Demografie, das Konsumverhalten, das Bauvolumen, die Entwicklung der Volkswirtschaft allgemein sowie der Holzwirtschaft im speziellen. Auch Substitutionen beeinflussen das zukünftige Altholzaufkommen; wie beispielsweise (i) Holzverpackungen durch andere und umgekehrt sowie (ii) der Ersatz von Holzprodukten durch andere Materialien bzw. vice versa. Das geschieht teilweise unmittelbar⁶, kann aber auch erst stark zeitverzögert eintreten⁷. Neben Substitutionen sind auch Aspekte der Mehrfachnutzung und Wiederverwertung zu berücksichtigen. So würde ein (deutlich) erhöhter Anteil von Mehrwegpaletten im Vergleich zu Einwegpaletten das Altholzaufkommen aus diesem Sektor ebenfalls (wesentlich) verringern.

Eine Abschätzung des zukünftigen Altholzaufkommens basiert letztendlich auf die getroffenen Annahmen für die wesentlichen Bestimmungsfaktoren. Auf Jahressicht sind die Veränderungen der Einflussgrößen und damit des Holzaufkommens noch vergleichsweise gering und liegen wohl deutlich unter den Fehlergrenzen von statistischen Erfassungen und Befragungen. Über einige Jahre können sich jedoch deutliche Aufkommensunterschiede

⁶ Ersatz von Holzprodukten durch andere spiegelt sich in den Holzproduktionsabfällen sofort wieder.

⁷ Werden Holzfenster beim Gebäudeneubau bzw. bei der Gebäudesanierung durch Kunststofffenster ersetzt, zeigt es sich erst in Jahren im verringerten holzbasierten Altfensteraufkommen.

ergeben. Nachfolgend wird trotz zahlreichen Schwierigkeiten bei der Bestimmung des Altholzaufkommens der Versuch unternommen, unter Beachtung der wesentlichen Einflussfaktoren (d. h. Demografie und Volkswirtschaft, Substitutionen und Mehrfachnutzungen) eine erste qualitative und quantitative Einschätzung für den Trend des Aufkommens bis zum Jahr 2010 vorzunehmen.

Ausgangspunkt ist der Altholzgesamtanfall⁸, der anschließend im Kontext des separat vorliegenden Altholzes – welches sich im Zeitablauf ebenfalls stark und auch losgelöst vom Mischaufkommen ändern kann – diskutiert wird. Deutlich wird, dass das zukünftige Aufkommen sehr stark an volkswirtschaftliche Rahmenbedingungen gekoppelt ist. Bei allen äußerst vielfältigen und sehr großen Unsicherheiten erscheint – auf Basis der getroffenen Annahmen – eine leichte Erhöhung des gemischt vorliegenden Altholzaufkommens wahrscheinlich zu sein.

Tabelle 4-18: Bundesweites Aufkommen an Altholz insgesamt für das Jahr 2003 und Tendenz bis 2010 in den verschiedenen Anfallsbereichen

| | Altholzanfall [kt] | Tendenz bis 2010 |
|---------------------------|-----------------------|--|
| Siedlungsabfälle | 974 | leicht zurückgehend infolge Einwohnerrückgang und mäßiger Konsumneigung |
| Verpackungsabfälle | 891 | leicht ansteigend aufgrund weiterhin gutlaufender Exportwirtschaft |
| Bauabfälle | 3.622 | leicht ansteigend wegen leichter Erholung der Baukonjunktur |
| Abfälle der Holzindustrie | 2.441 | gleichbleibend bis leicht ansteigend aufgrund Produktionssteigerungen, teilweise jedoch kein Abfall (SNP in HWS- und ZS-Industrie) |
| Summe | 7.929 | leicht ansteigend |

Für den Einsatz zur Verstromung interessiert letztendlich jedoch nur die separat verfügbare Altholzmenge. In dem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie intensiv zukünftig Getrennterfassungen und Sortierungen erfolgen. Aufgrund der angespannten momentanen Entsorgungssituation (d. h. zu geringe Kapazitäten und daher hohe resultierende Preise) wird der Druck zu weiteren verstärkten Getrennthaltung und Sortierung zunehmen; demnach werden die separat anfallenden Abfälle (zutreffend auch für die Holzabfälle) ansteigen. In einem weiteren Schritt wären auch – aufgrund der sehr speziellen Randbedingungen für die Verstromung der verschiedenen Althölzer – Aussagen, wie sich die zukünftig anfallende Menge auf die einzelnen Altholzklassen aufteilt, sehr hilfreich. Es existiert grundsätzlich auch in der Zukunft der in Tabelle 4-7 aufgezeigte Zusammenhang zwischen Anfallsbereich und mögliche Zuordnung zu den Altholzklassen, wobei sich auch hier über einen längeren Zeitraum (deutliche) Verschiebungen ergeben können. Insgesamt ist jedoch auf Basis der Ableitungen in Tabelle 4-4 davon auszugehen, dass sämtliche Altholzklassen eine Mengenausweitung erfahren bzw. die Verschiebungen zwischen den einzelnen

⁸ Wichtig ist im ersten Schritt der Gesamtanfall. In einem zweiten Schritt geht es dann darum, wie hoch eine Separierung von Althölzern sein kann und wird.

Altholzkategorien relativ klein bleiben werden. Um vom inländischen Aufkommen Rückschlüsse auf die Inlandsverfügbarkeit schließen zu können, ist wiederum der Außenhandel zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 4.3.3). In den letzten Jahren haben sich dort deutliche Änderungen ergeben; die Importe haben deutlich zu-, die Exporte dagegen abgenommen. Es ist wahrscheinlich, dass sich dieser Trend in abgeschwächter Form fortsetzen wird.

Bei allen Unsicherheiten ist alles in allem zukünftig von einem etwas höheren inländischen separat vorliegenden Altholzangebot auszugehen. Gegenüber dem Jahr 2005, wo es etwa 6 Mio. t betrug (Anstieg von 0,5 Mio. t gegenüber dem Vorjahr), könnte es im Jahr 2006 – dem ersten vollen Jahr mit geltendem Ablagerungsverbot – um nochmals 0,5 Mio. t ansteigen. Bis 2010 erscheinen weitere, jedoch deutliche geringere Erhöhungen möglich, so dass das Gesamtaufkommen in einer Größenordnung von 7 Mio. t liegen könnte. Gegebenenfalls kommt es jedoch auch zu einem gegenläufigen Trend, nachdem zusätzliche Verbrennungskapazitäten in Betrieb gegangen sind. Zu bemerken sei an dieser Stelle noch einmal, dass die Angebotsmenge nicht losgelöst von der Altholznachfrage zu sehen ist; eine Erhöhung dieser bis zu einem gewissen Punkt auch durch z. B. noch umfassendere, aber unter den neuen Bedingungen (insbesondere bezüglich der Preise für Brennstoffe) dann wieder wirtschaftliche, Sortierung befriedigt werden kann. Regional kann sich – wie bereits schon jetzt – die Situation sehr unterschiedlich darstellen. Es erscheint denkbar, dass sich die Schere zwischen Angebot und Nachfrage insbesondere in den neuen Bundesländern noch weiter öffnen wird.

4.5.3 Altholzbedarf

Stoffliche Nutzung

Der Altholzbedarf für die stoffliche Nutzung wird etwa zur Hälfte durch den Bedarf der Holzwerkstoffindustrie bestimmt und wurde – große Unsicherheiten beinhaltend – für 2003 und 2005 mit etwa 2 Mio. t abgeschätzt (vgl. Kapitel 4.3.2). Für den Fall, dass sich die gute Konjunktur in der Holzwerkstoffindustrie weiter fortsetzt /94/, könnten sich in den nächsten Jahren eine leichte Erhöhung der Altholzeinsatzmengen geben. Abschätzungen für diesen Bereich sind jedoch – wie schon die Beschreibung des Ausgangszustandes - mit großen Unsicherheiten verbunden, die jedoch im Kontext der deutlich dominierenden energetischen Nutzung weniger stark ins Gewicht fallen.

Energetische Nutzung

Wärmebereitstellungsanlagen und Biokraftstoffproduktion. Hinsichtlich des Altholzbedarfes für den Einsatz in Wärmeerzeugungsanlagen ist bis zum Jahr 2010 – ein weiterhin relativ hoher Ölpreis, jedoch keinerlei regulatorische Maßnahmen (z. B. Wärmegesetz) unterstellt – ein moderater Bedarfsanstieg (insbesondere in Leistungsklassen $< 15 \text{ kW}_{\text{FWL}}$) wahrscheinlich. Die Herstellung von synthetischen Biokraftstoffen (BTL) ist prinzipiell auch auf Basis von Altholz möglich und die in der Diskussion befindlichen großen

Produktionsanlagen haben einen vergleichsweise sehr hohen Holzbedarf von etwa 250 bis 500 MW_{FWL}⁹. Ein Einsatz von Altholz würde perspektivisch einen großen Einfluss auf die Verschiebung der Angebots- und Nachfragekonstellation haben. Dies ist jedoch unter günstigen Rahmenbedingungen (d. h. in erster Linie Überwindung technisch-ökonomischer Barrieren) erst nach 2010 zu erwarten.

Stromerzeugungsanlagen. Es kann abgeschätzt werden, dass von den 140 in Betrieb befindlichen Biomassekraftwerken (vgl. Kapitel 2.1), etwa 100 mit einer Gesamtleistung von etwa 700 MW_{el.} ausschließlich (bzw. zusammen mit NawaRo-Holz) Altholz einsetzen. Der Altholzeinsatz bewegte sich 2005 bei etwa 3,8 Mio. t. Für 2006 ist mit einer neu installierten elektrischen Leistung in einer Größenordnung von 60 MW_{el.} sowie einem korrespondierenden zusätzlicher Altholzbedarf von etwa 400 kt zu rechnen.

Abschätzungen zum Umfang möglicher Neuerrichtungen nach 2006 gestalten sich dagegen deutlich schwieriger, da dazu keine bereits existierende Bauprojekte herangezogen werden können, sondern nur Einschätzungen der Wirtschaftlichkeit sowie vorhandene Kenntnisse über Projektideen und Planungen einfließen (können). Insgesamt ist der Zubau in den nächsten Jahren stark von den Anreizwirkungen des EEG abhängig, die sich zum jetzigen Zeitpunkt jedoch erst ansatzweise abschätzen lassen. Wie aufgezeigt (vgl. Kapitel 0), ist unter günstigen Randbedingungen die Verstromung auf Basis A I/II-Hölzern durchaus wirtschaftlich darstellbar. Obwohl sich größere Vorhaben auf dem ersten Blick durch eine bessere Wirtschaftlichkeit als kleinere Projekte auszeichnen, ist jedoch aus Gründen der eingeschränkten Brennstoffverfügbarkeit und -beschaffung eher eine Realisierung von kleineren Anlagen mit hoher Wärmeauskopplung und nur die vereinzelt die von Großprojekten wahrscheinlich. Die Projektumsetzung ist an günstige Standortverhältnisse geknüpft, so dass die Anzahl und die neu installierte Leistung insgesamt relativ gering bleiben wird und nicht annähernd mit dem Zubauumfang des Jahres 2004 (Errichtung von Altholzkraftwerken mit einer Gesamtleistung von ca. 200 MW_{el.}) vergleichbar sein wird. Der Zuwachs an altholzbasierter Stromerzeugung sowie der Altholzmehrbedarf bleiben damit insgesamt auch relativ gering. Im Jahr 2010 werden die Anlagenneubauten des Zeitraumes 2005 bis 2010 zu einer zusätzlichen auf Althölzern beruhende Biomassestromerzeugung von bis zu 2 TWh_{el}/a führen und sie dazu maximal 2 Mio. t/a Altholz (zusätzlich) benötigen (Tabelle 4-19).

Tabelle 4-19: Zubau von Altholzkraftwerken im Zeitraum 2004 bis 2010

| Jahr | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|--|-------|------|------|------|------|------|------|
| Installierte elektrische Leistung (MW _{el.}) | 200 | 80 | 60 | 35 | 37 | 19 | 31 |
| Altholzbedarf (kt) | 1.330 | 650 | 400 | 230 | 250 | 130 | 210 |

Die zukünftige Gesamtstromerzeugung auf Basis von Altholz wird jedoch nicht nur vom Anlagen- respektive Leistungszubau der kommenden Jahre, sondern auch von der technischen Verfügbarkeit und korrespondierend dazu der Anlagenauslastung und -fahrweise der

⁹ in Größenordnungen von etwa 1.000 kt/a je Anlage und spezifischen Brennstoffanforderungen

bestehenden Altholzkraftwerke (wesentlich) beeinflusst. Wie die Betriebserfahrungen der vergangenen Jahre zeigen, erreichen bestehende Anlagen vielfach nur (deutlich) geringere Volllaststunden als geplant (vgl. Kapitel 0). Es ist davon auszugehen, dass sich die Anlagenauslastung durch geeignete technische Maßnahmen sowie das Bestreben qualitativ hochwertige Brennstoffe einzusetzen zukünftig jedoch wieder (deutlich) erhöhen wird. Diese Aussage korrespondiert mit der Einschätzung, dass dadurch auch die Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebes sich wieder verbessert und es damit auch nur in einem relativ moderaten Rahmen zu Anlagenstilllegungen kommen wird. Auch Brennstoffumstellungen von Altholz auf NawaRo werden wohl nur im geringen Umfang stattfinden, ebenso wie der Einsatz von Ersatzbrennstoffen. Insgesamt ist einzuschätzen, dass es durch Kraftwerksstilllegungen und Brennstoffwechsel zur Reduzierung der installierten elektrischen Anlagenleistung um maximal 100 MW_{el.} kommen wird. Demnach ist von einer elektrischen Leistung sämtlicher Altholz einsetzender Kraftwerke zum Jahresende 2010 in einer Größenordnung von etwa 800 MW_{el.} auszugehen. Die Stromerzeugung könnte sich von 3,1 TWh_{el.} (2004) auf ca. 5 TWh_{el.} im Jahr 2010 erhöhen und der Altholzeinsatz von 3,5 Mio. t auf ca. 5,5 Mio. t steigen (Tabelle 4-20). Der letztere Wert korrespondiert gut mit der Altholzaufkommenserhöhung im Zeitraum 2005 bis 2010 von etwa 1,5 Mio. t, so dass unter Berücksichtigung der Ausweitung von Importen eine Brennstoffbedarfsdeckung möglich erscheint. Generell ist jedoch einzuschätzen, dass Althölzer zukünftig nur noch einen relativ geringen weiteren Beitrag zum Ausbau der Stromerzeugung auf Basis von Biomassen leisten werden.

Tabelle 4-20: Altholzkraftwerke in Deutschland in den Jahren 2005 und 2010 im Vergleich (*vorläufiger Stand)

| | 2005* | 2010 |
|--|-------|------|
| Installierte elektrische Leistung (MW _{el.}) | 705 | 850 |
| Stromerzeugung (TWh _{el.}) | 3,4 | 5,0 |
| Altholzeinsatz (Mio. t) | 3,8 | 5,5 |

4.6 Zusammenfassung

Die Verstromung von Altholz hat in den letzten Jahren aufgrund der günstigen Rahmenbedingungen eine deutliche Ausweitung erfahren. Zahlreiche neue Altholzkraftwerke sind initiiert durch das EEG neu in Betrieb gegangen. Die umgesetzten Projekte sind dabei sehr unterschiedlich ausgeprägt. Der Schwerpunkt lag bei Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 20 MW_{el.} und in der Regel mit geringer bzw. ohne Wärmeauskopplung. In den letzten beiden Jahren ist jedoch eine gewisse Tendenz zu Anlagenstandorten mit bestehender Infrastruktur und der Möglichkeit einer größeren Wärmenutzung zu erkennen. Bei einigen der in Betrieb befindlichen Anlagen bestehen größere technische Probleme, im Bereich der Brennstoffbeschickung sowie insbesondere durch Verschlackung und Korrosion. Teilweise führte dies zu deutlich geringeren Vollbenutzungsstunden mit entsprechenden Konsequenzen für die Wirtschaftlichkeit. Verstärkt wurde dies auch durch den in den letzten Jahren deutlich erhöhten Altholzpreis, insbesondere der energetisch genutzten Sortimente A III/IV. Aufgrund dieser ungünstigen

wirtschaftlichen Situation unternehmen viele Betreiber große Anstrengungen die technischen Probleme zu beseitigen und die Altholzbeschaffung zu optimieren. Teilweise wird auch über die Erweiterung des Brennstoffsortiments, über einen Brennstoffwechsel auf NawaRo bzw. über den alternativen Einsatz von Ersatzbrennstoffen nachgedacht. Es sind jedoch auch schon erste Insolvenzen zu verzeichnen.

In den letzten Jahren wurde vielfach die Befürchtung geäußert, dass das Altholzangebot für die in Betrieb befindlichen und anvisierten Projekte nicht ausreicht. Das ist in der Form so nicht eingetreten. Die Planung zahlreicher Altholzprojekte wurde in den letzten Jahren – eben weil die Brennstoffversorgung nicht gesichert war – aufgegeben. Das führte zu einer entsprechenden Entspannung auf den Altholzmarkt. Jedoch auch die technischen Probleme und die einhergehende geringere Anlagenauslastung haben die Altholznachfrage nicht in dem prognostizierten Umfang erhöht. Insgesamt ist jedoch durch die zahlreichen Neuinbetriebnahmen der Altholzbedarf in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Die Bedarfsdeckung wurde durch stärkere Abfallaufbereitung und -sortierung sowie durch Ausweitung der Importe realisiert. Eine weitere wesentliche Erhöhung des Altholzangebots, jedoch teilweise sehr eingeschränkter Qualität, ist durch das Verbot der Deponierung von unbehandelten Abfällen eingetreten. Das in den letzten beiden Jahren Altholzangebot und -nachfrage ein etwaiges Gleichgewicht gefunden haben, lässt sich auch an der Preisentwicklung bei den Althölzern ablesen. In den vergangenen 24 Monaten sind diesbezüglich kaum Veränderungen eingetreten. Im Rahmen der Bilanzierung des Altholzangebots und der Altholznachfrage konnte dieses Gleichgewicht jedoch nicht gänzlich nachgewiesen werden. Das hat weniger zur Ursache, dass es nicht tatsächlich vorhanden ist (wie der Markt zeigt), sondern vielmehr kann die Abfallstatistik nicht die gesamte am Markt gehandelte Altholzmenge abbilden. Dazu kommt, dass Altholz – wenngleich in den Abfallbilanzen nicht erfasst – in größerem Umfang in kleineren Feuerungsanlagen eingesetzt wird. Auf Basis der Abfallstatistik des Jahres 2003 lässt sich eine separat vorliegende und entsorgte Altholzmenge in einer Größenordnung von etwa 5,4 Mio. t ableiten. Dieser Wert korrespondiert weitgehend mit den Werten anderer Veröffentlichungen und den Einschätzungen aus der Praxis. Der in reale Altholzverbrauch für die energetische Nutzung bewegt sich bei ca. 9,4 Mio. t; bilanztechnisch erfasst werden dagegen nur etwa 3,8 Mio. t.

Aufgrund der Regelungen des EEG und der BiomasseV, die zur Folge haben, dass A III/IV-Hölzer bei Neuanlagen wirtschaftlich nicht mehr einsetzbar sind, wird in den nächsten Jahren aufgrund der wirtschaftlichen Randbedingungen (d. h. Rentabilität nur bei Anlagen größerer Leistung, kostengünstiger Brennstoffbereitstellung und umfassender Wärmenutzung) nur ein deutlich verminderter Zubau zu verzeichnen sein. Die momentan in Bau befindlichen Anlagen werden voraussichtlich bis spätestens Jahresmitte 2006 in Betrieb gehen. Weitere Anlagen, die dann A I/II-Hölzer einsetzen, werden schwerpunktmäßig in der Holzverarbeitenden Industrie errichtet. Teilweise sind das Kleinanlagen auf Basis der ORC-Technologie. Im Ausblick ist dann für das Jahr 2010 von einem Umfang der Stromerzeugung auf Basis von Altholz in der Größenordnung von 5 TWh_{el} auszugehen, im Jahr 2005 waren es noch etwa 3,4 TWh_{el}. Der zusätzliche Altholzbedarf wird schwerpunktmäßig durch Mengenerhöhungen aus der Sortierung gemischter Abfälle mit Holzfraktion sowie durch steigende Importe



gedeckt. Bei unveränderten Rahmenbedingungen lässt sich jedoch einschätzen, dass durch neue Kraftwerke auf Basis von Altholz nur noch ein begrenzter Beitrag zum weiteren Ausbau der biomassebasierten Stromerzeugung geleistet wird.

5 Einsatz tierischer Nebenprodukte zur Stromerzeugung

Bereits in den vergangenen Jahren war zu beobachten, dass sich infolge veränderter rechtlicher Rahmenbedingungen (z. B. Verfütterungsverbotsgesetz, Hygiene-Verordnung) die Nutzungspfade für Zoomasse (tierische Nebenprodukte) von einer stofflichen Nutzung hin zu einer verstärkten energetischen Nutzung verschoben haben.

Übergeordnetes Ziel dieses Arbeitskomplexes ist die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen hinsichtlich der Sachgerechtigkeit der bestehenden BiomasseV für den Einsatz von tierischen Nebenprodukten. Basis für diese Handlungsempfehlungen bilden die Ergebnisse der einzelnen Unterpunkte:

- * aktuelle Markt- und Stoffstromerhebung für die relevanten Stoffgruppen sowie Abschätzung des energetischen Potenzials tierischer Nebenprodukte
- * Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Referenzanlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse
- * Ökologische Beurteilung des Einsatzes von tierischen Nebenprodukten anhand des kumulierten Primärenergieaufwandes sowie treibhausgasrelevanter Emissionen

In Anschluss an eine kurze Einführung in die rechtlich-administrativen Rahmenbedingungen, folgt die Darstellung der Ergebnisse zu den o. g. Schwerpunkten

5.1 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

Biomasse im Sinne der § 2 Abs. 1 BiomasseV sind „Energieträger aus Phyto- und Zoomasse. Hierzu gehören auch aus Phyto- und Zoomasse resultierende Folge- und Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle, deren Energiegehalt aus Phyto- und Zoomasse stammt“ /3/. Dabei Zoomasse umfasst die von Tieren stammende Biomasse, wozu nicht nur tierische Folge- und Nebenprodukte aus der Lebensmittelindustrie (z. B. Fleisch, Milch, Eier), sondern auch gefallene Tiere (z. B. Wild) und Abfälle aus der fleischverarbeitenden Industrie (z. B. Speisereste, Schlachtabfälle, Blut) und bei der Nutztierhaltung anfallende tierische Exkremente (d. h. Gülle) zählen.

Bei tierischen Nebenprodukten, wie sie in den nachfolgenden Untersuchungen behandelt werden sollen, umfassen einerseits auf den in den Betrieben der Tierkörperverarbeitung beseitigten und verarbeiteten Rohmaterialien, d. h. alle Teile eines geschlachteten Tieres, die nicht als Lebensmittel verwendet werden, inklusive die Tierkörper der verendeten, nicht zur Fleischgewinnung getöteten oder totgeborenen Tiere, sowie Fleisch und Fleischerzeugnisse, die nicht mehr zur Verwendung als Lebensmittel bestimmt sind. Nachfolgend inkludiert der Begriff tierische Nebenprodukte ebenso der den daraus hergestellten Produkten (d. h. Tiermehle, Tierfette und sog. Flüssigfutter).

Darüber hinaus liegt der Fokus dieses Arbeitskomplexes auf der Relevanz der tierischen Nebenprodukte zur energetischen Verwertung, insbesondere zur Stromerzeugung.

5.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die Entsorgung und entsprechende Verwertung tierischer Nebenprodukte berührt komplexe Sachverhalte und Rechtsgebiete, welche teilweise noch klärungsbedürftig respektive Gegenstand von erforderlichen Anpassungen sind. Nachfolgend werden die – gegenwärtig bestehenden – wesentlichen rechtlichen Rahmenbedingungen im Überblick vorgestellt (vgl. Abbildung 5-1).

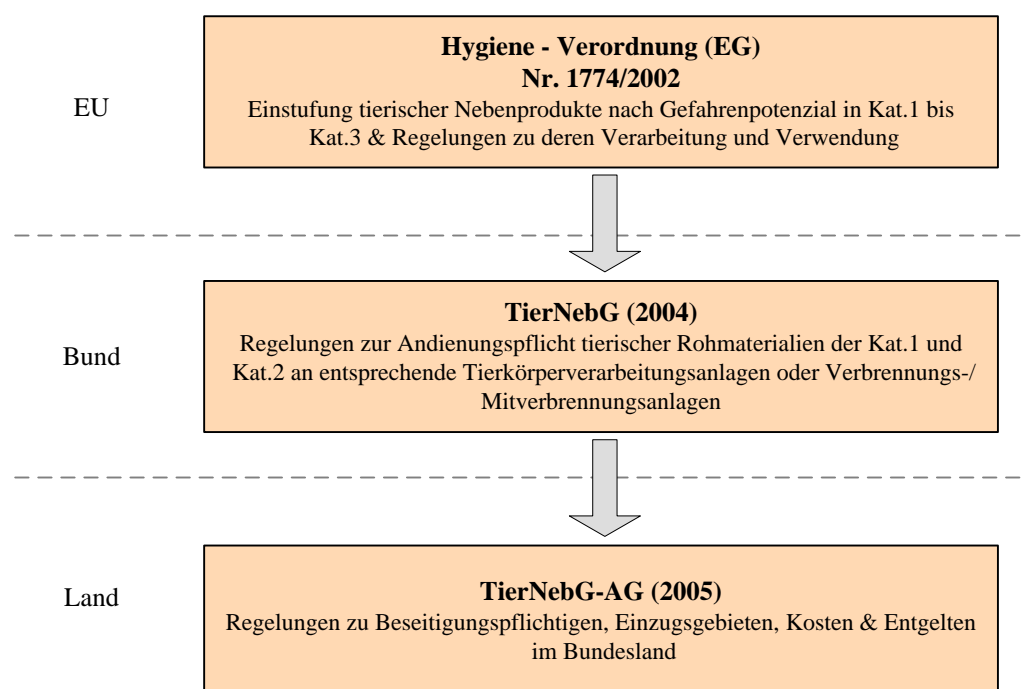


Abbildung 5-1: Rechtliche Rahmenbedingungen für die Einordnung, Verarbeitung und Verwertung tierischer Nebenprodukte

Hygiene-Verordnung (EG)

Tierische Nebenprodukte fallen nicht in den Geltungsbereich des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG § 2). Bei der Entsorgung tierischer Nebenprodukte handelt es sich um eine fortwährende Aufgabe, deren rechtliche Grundlage innerhalb der Europäischen Union durch die Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 geregelt ist. Diese, seit 1. Mai 2003 geltende, Verordnung beinhaltet Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte. Nach Maßgabe des jeweils unterstellten **Gefahrenpotentials** werden alle tierischen Nebenprodukte und jedes diese Produkte enthaltene Material in drei verschiedene (**Risiko-)**Kategorien eingeteilt. Zugleich sind mit dieser Risikobewertung entsprechende Verarbeitungs- und Verwertungswege vorgeschrieben. Kategorie 1 bezeichnet das Material mit dem höchsten Risikofaktor, Kategorie 3 das am wenigsten riskante Material. Die wesentlichen Charakteristika sowie Vorschriften zur

Verwertung dieser Kategorien (im folgenden Kat. 1 bis 3 genannt) sind in Tabelle 5-1 zusammengefasst. Darüber hinaus sind mit der (EG) Nr. 92/2005 die nachfolgend aufgeführten alternativen Methoden für die Verarbeitung von tierischen Nebenprodukte als sichere Verfahren prinzipiell zulässig: (i) die alkalische Hydrolyse, (ii) die Thermo-Druck-Hydrolyse, (iii) das Hochdruck-Hydrolyse-Biogas-Verfahren (HDHBV) sowie (iv) die Biodiesel-Herstellung und (v) die Brokes-Vergasung /16/, /42/. Mit Ausnahme der Biodieselherstellung und des Hochdruck-Hydrolyse-Biogas-Verfahrens¹⁰, denen die Drucksterilisation nach Methode 1 (EG) 1774/2002 vorangestellt ist, ist über die Praxistauglichkeit dieser Verfahren nichts bekannt.

Verarbeitungsbetriebe tierischer Nebenprodukte sind gemäß behördlicher Genehmigung (i. d. R. durch die zuständigen Landesbehörden wie Veterinärämter und Immissionsschutzbehörden) nur für die Verwertung der Rohmaterialien einer Kategorie (d. h. entweder Kat. 1 oder Kat. 2 oder Kat. 3) zugelassen. Ein Wechseln der Anlagen zwischen der Verarbeitung verschiedener reiner Kategorien ist nicht möglich. Hier bedarf es einer behördlichen Neugenehmigung verbunden mit zusätzlichen Auflagen /12/. Gemäß Hygiene-Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 müssen Rohmaterialgemische entsprechend dem Rohmaterialanteil mit dem nächsthöchsten Gefahrenpotenzial genehmigt werden, d. h. Kat. 1 (bei Gemischen, die Kat. 1 enthalten) bzw. Kat. 2 (bei Gemischen, die Kat. 2, keinesfalls aber Kat. 1 enthalten) werden in den dafür genehmigten Anlagen verarbeitet.

Während für die thermische Entsorgung von Materialien der Kat. 1 und Kat. 2 Verbrennungsnachweise erforderlich sind, gibt es für Materialien der Kat. 3 keine amtliche Verwendungskontrolle oder einen Verbringungs-nachweis. Gleiches gilt für handelbare Tierfette und Tiermehldünger der Kat. 2 /13/, /14/.

¹⁰ Gegenwärtig gibt es in Malchin eine Biodieselanlage (etwa 20% der von Saria Bio-Industries produzierten Fette); die TKV St. Erasmus erprobte das HDHB-Verfahren in einer Demonstrationsanlage.

Tabelle 5-1: Kategorisierung der tierischen Rohmaterialien nach Verordnung (EG) 1774/2002 /11/, /13/, /14/ (Art. 4 ff.)

| (Risiko-) Kategorie | Art/Herkunft des Rohmaterials | Vorschriften hinsichtlich Hygienisierung und anschließender Verwertung der daraus hergestellten Produkte |
|---|--|---|
| Kat. 1 (hoch) | <ul style="list-style-type: none"> - an TSE^a erkrankte, TSE-verdächtige oder krankheitsbedingt verendete Tiere (Nutz-, Wild-, Heim-, Zoo- und Zirkustiere) - spezifiziertes Risikomaterial (SRM), wie z. B. Schädel, Gehirn, Augen, Rückenmark von Rindern - Erzeugnisse mit Rückständen verbotener Stoffe und Kontaminationen (nach Richtlinie 96/22 EG) - Küchen- und Speiseabfälle aus Drittländern im grenzüberschreitenden Verkehr - Gemische aus Kat. 1 und Kat. 2 bzw. Kat. 3 | Drucksterilisation (50 mm, 133 °C, 20 min, 3 bar) thermische Beseitigung/Verwertung ^b |
| Kat. 2^c (mittelhoch) | <ul style="list-style-type: none"> - Tiere, die im Rahmen einer Tierseuchenbekämpfung vorsorglich getötet wurden - tierische Erzeugnisse, die aus Drittländern in die EU eingeführt werden und nicht den tierseuchenrechtlichen Vorschriften entsprechen - Erzeugnisse mit Medikamentenrückständen und Kontaminationen (nach Richtlinie 96/23 EG) - Gemische aus Kat. 2 und Kat. 3 | Drucksterilisation (50 mm, 133 °C, 20 min, 3 bar) energetische Verwertung ^b oder technische Verwertung (d. h. chemische Industrie, Düngemittel) |
| Kat. 3 (niedrig) | <ul style="list-style-type: none"> - genusstaugliche Schlachtabfälle, die keine Anzeichen einer auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit haben - Häute, Hufe, Hörner und Federn von genusstaugl. Tieren - Blut (außer von Wiederkäuern) - Nebenprodukte aus der Lebensmittelherstellung, Milch - bestimmte Reste von Fischen - Speisereste | Drucksterilisation (50 mm, 133 °C, 20 min, 3 bar) oder Pasteurisierung genehmigter Kat. III-Materialien Petfood-Industrie (Heim- und Pelztiere), technische oder energetische Verwertung |

^a TSE (Transmissible Spongiforme Enzephalopathie) - Oberbegriff für übertragbare schwammartige Veränderungen im Gehirn bei verschiedenen Tierarten und Menschen, zu der auch BSE gehört

^b Verbrennung mit erforderlichem Nachweis

^c Eine Ausnahmerolle nehmen hierbei Gülle, von Magen und Darm getrennter Magen- und Darminhalt und Kolostrum (Kolostral- bzw. Erstmilch bei Säugetieren) ein.

Die den europäischen Mitgliedsstaaten noch verbleibenden Gestaltungsspielräume werden durch nationales Recht geregelt. Die europarechtlichen Vorgaben (EG) Nr. 1774/2002 sowie deren Änderungen Nr. 808/2003 ff. finden Einbindung in das nationale Recht in Form eines Rahmengesetzes, welches als „Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG)“ vom 25. Januar 2004 (BGBl I, Seite 82) durch den Bund umgesetzt wird.

Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG)

Mit Inkrafttreten des **TierNebG** wurde das bisherige Tierkörperbeseitigungsgesetz¹¹ (TierKBG) vom April 2001 aufgehoben. Zudem verloren Tierkörperbeseitigungsanstalten-Verordnung bzw. die Futtermittelherstellungs-Verordnung ihre Gültigkeit. Das § 3 TierNebG trifft verpflichtende Regelungen zur Bearbeitung und Beseitigung (sog. Andienungspflicht) nur für die o. g. Risikoklassen der Kat. 1 und Kat. 2 mit Ausnahme von Exkrementen von Nutztieren, sauber getrennten Magen-Darm-Inhalten sowie Kolostrum und Milch. Regelungen für Kat. 3-Materialien sind im § 4 TierNebG bezüglich der Genehmigungspflicht zur Verfütterung verankert. Außerdem sieht das § 16 TierNebG vor, dass verschiedene landesgesetzlich geregelte Vorschriften zur Ausführung des bisher geltenden TierKBG längstens bis zum 31. Dezember 2005 Gültigkeit besitzen /17/. Dieses Rahmengesetz muss auf Bundeslandebene in Form sog. Ausführungsgesetze hinsichtlich Regelungen zu den Beseitigungspflichtigen (z. B. Landkreise und kreisfreie Städte) der Einzugsgebiete sowie der Entsorgungsgebühren durch eigenes Recht ausgestaltet werden.

Insbesondere für die energetische Verwertung tierischer Nebenprodukte in Biogasanlagen ist im Zuge des gegenwärtig in der Bearbeitung stehenden Entwurfes einer Verordnung zur Durchführung des TierNebG mit umfangreichen Vorgaben zu rechnen; dies umfasst u. a. die Diskussion der derzeit nach (EG) Nr. 1774/2002 nicht hygienisierungspflichtigen Verwertung von Magen-Darm-Inhalten.

Biomasseverordnung (BiomasseV)

Die bis August 2005 geltende BiomasseV vom 21. August 2001 schloss nach § 3 Nr. 9 tierische Nebenprodukte als Biomasse im Regelfall aus; in diesem Zusammenhang wird auf das auf das TierKBG verwiesen /2/. Stoffe der Kat. 3 konnten bereits in der Vergangenheit mit behördlicher Einzelfallgenehmigung in Biogasanlagen (d. h. außerhalb von Tierkörperverwertungsanlagen) verwertet werden; dort galten sie als anerkannte Biomasse. Die Änderung der Rechtslage bei der Entsorgung tierischer Nebenprodukte (s. o.) ließ den genannten Verweis auf das TierKBG ins Leere laufen und bedingt mögliche Unsicherheiten hinsichtlich der Biomasseeigenschaft tierischer Nebenprodukte. Mit der 1. Verordnung zur Änderung der Biomasseverordnung vom 9. August 2005 erfolgte die Anpassung an die aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Sachgerechtigkeit für den Einsatz tierischer Nebenprodukte der Kat. 3. Nebenprodukte der Kat. 1 und 2 sind dagegen auch weiterhin nicht als Biomasse im Sinne der BiomasseV anerkannt /3/.

Rahmenbedingungen für Umgang mit Gärresten aus der Vergärung tierischer Nebenprodukte

Werden Gärrückstände aus der Vergärung tierischer Nebenprodukte der Kat. 2/3 nicht auf eigenen Flächen verwertet, sondern an andere zur Düngung abgegeben werden, gelten die für das Inverkehrbringen geltenden düngemittel-rechtlichen Vorschriften. Diese sind das

¹¹ Gesetz über die Beseitigung von Tierkörpern, Tierkörperteilen und tierischen Erzeugnissen

(i) Düngemittelgesetz (DüMG) von 1977, (ii) die Düngemittelverordnung (DüMV) von 2003 sowie (iii) die Probenahme- und Analyseverordnung - Düngemittel von 1977 /28/.

Grundsätzlich kann laut „Verordnung über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel“ (EWG) 2092/91 Tiermehl als Düngemittel und Bodenverbesserer im ökologischen Landbau ergänzend eingesetzt werden; möglich ist dies im Fall einer Ausnahmegenehmigung, unter Einhaltung von Auflagen sowie nach entsprechender Anerkennung des Bedarfs durch die zuständige Kontrollstelle /41/.

5.3 Markt- und Stoffstromerhebung

Die nachfolgend ausgewerteten Stoffströme bezüglich anfallenden Rohmaterials an tierischen Nebenprodukten, der daraus hergestellten Produkte sowie deren Verwertung basieren auf der jährlichen Datenerfassung des Verbandes der Verarbeitungsbetriebe tierischer Nebenprodukte e. V. (VVTN).

5.3.1 Aufkommen an Rohmaterial im Bundesgebiet

Die Menge des im Bundesgebiet anfallenden Rohmaterials, das den sog. Tierkörperbeseitigungsanlagen (TKV) zur Entsorgung zugeführt wird, steht in direktem Zusammenhang mit der Fleischnettoerzeugung (d. h. Schlachthanfall) und den sich daraus ergebendem Schlachtabfällen.

In Tabelle 5-2 und Abbildung 5-2 sind differenziert nach den verschiedenen Fleischarten die Entwicklung von Schlachthanfall und Fleischverbrauch (d. h. Nahrungs- und Futtermittelbedarf sowie industrielle Verwertung und Verluste) dem Rohmaterialaufkommen seit 1999 gegenübergestellt. Ein Blick auf den Fleischverbrauch zeigt die zunehmende Schlachtung von Schweine- und Geflügelfleisch infolge der BSE-Krise und reflektiert damit deutlich das Konsumverhalten (Verbrauch). Wertsteigerungseffekte bei der Schlachtung durch kontinuierlich gestiegene Schlachtmengen (u. a. durch eine bessere Ausschachtung) spiegeln sich im Anteil des Rohmaterialanfalls bezogen auf die Fleischnettoerzeugung wider, der insbesondere seit dem Jahr 2000 kontinuierlich um etwa 5 % gesunken ist.

Tabelle 5-2: Entwicklung der Versorgung mit Fleisch nach Fleischarten sowie anfallendes Rohmaterial von 1999 bis 2003 /11/, /27/

| [kt/a] | 1999 | | 2000 | | 2001 | | 2002 | | 2003 | |
|---|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | Schlachtung | Verbrauch | Schlachtung | Verbrauch | Schlachtung | Verbrauch | Schlachtung | Verbrauch | Schlachtung | Verbrauch |
| Rind-/Kalbsfleisch | 1.374 | 1.243 | 1.304 | 1.148 | 1.361 | 818 | 1.316 | 988 | 1.226 | 1.057 |
| Schweinefleisch | 4.103 | 4.672 | 3.982 | 4.457 | 4.074 | 4.446 | 4.110 | 4.456 | 4.239 | 4.545 |
| Geflügelfleisch | 748 | 1.253 | 801 | 1.317 | 860 | 1.497 | 891 | 1.421 | 963 | 1.501 |
| Schaf-/Ziegen-/Pferdefleisch | 49 | 98 | 49 | 102 | 52 | 100 | 47 | 91 | 49 | 87 |
| Innereien | 341 | 339 | 328 | 312 | 338 | 247 | 335 | 207 | 334 | 192 |
| Sonstiges Fleisch | 90 | 119 | 90 | 119 | 90 | 128 | 90 | 115 | 90 | 114 |
| Total | 6.705 | 7.723 | 6.554 | 7.455 | 6.775 | 7.236 | 6.790 | 7.277 | 6.902 | 7.496 |
| Rohmaterialanfall | 2.695 | | 2.762 | | 2.846 | | 2.664 | | 2.556 | |
| Anteil des Rohmaterialanfalls bzgl. Schlachtung | 40,20% | | 42,15% | | 42,01% | | 39,24% | | 37,03% | |

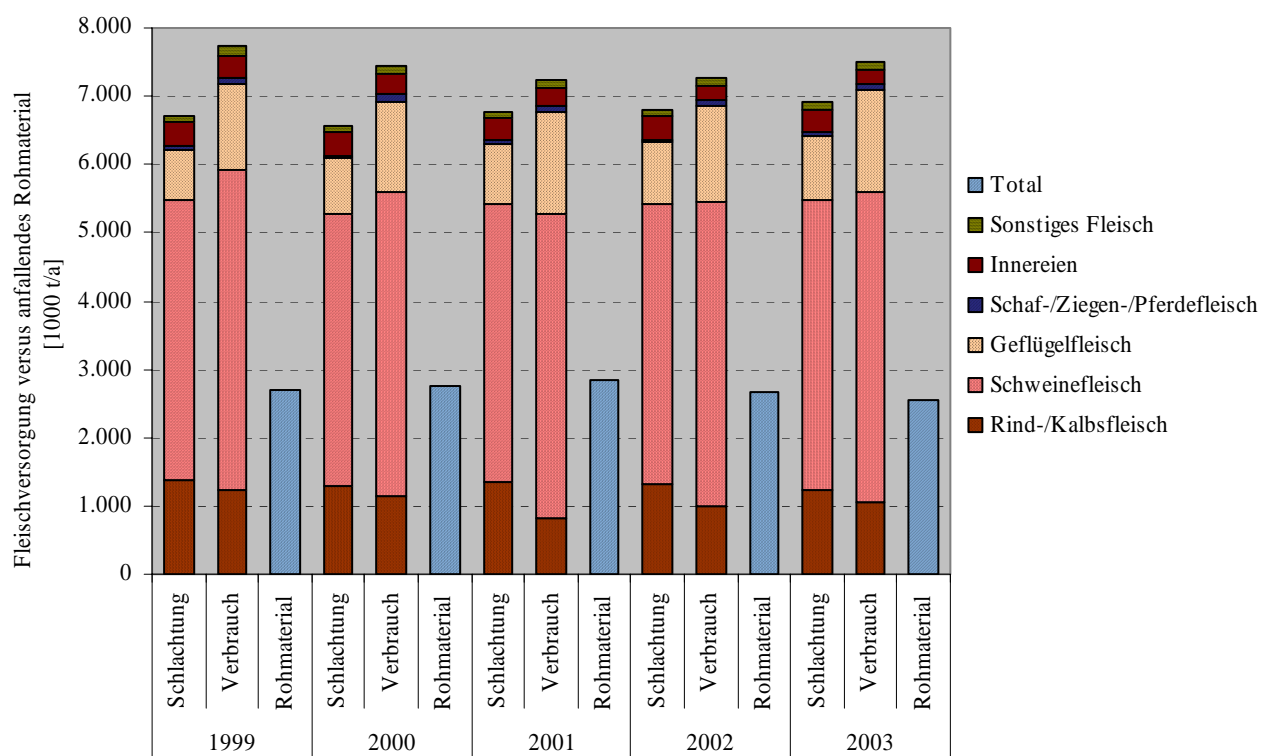


Abbildung 5-2: Entwicklung von Schlachtmengen und Fleischverbrauch sowie dem Rohmaterialaufkommen von 1999 bis 2003

Für die Verarbeitung von tierischen Nebenprodukten (u. a. Schlachtabfälle) gibt es in Deutschland in Summe etwa **50 Tierkörperverarbeitungsbetriebe (TKV)**. Davon sind im VVTN insgesamt 46 TKV organisiert, die tierische Rohstoffe (d. h. Tierkörper, Tierkörperteile, Speisereste und sonstige Erzeugnisse) einsammeln, aufbereiten und entweder zu nutzbaren Produkten verwerten oder einer sicheren Beseitigung zuführen (siehe Kapitel 5.3.3). Diese Betriebe verarbeiten Rohmaterialmengen von jährlich etwa

35.000 bis zu 80.000 Tonnen. Dabei handelt es sich überwiegend um (mittelständische) Unternehmen und um einige kreiseigene Zweckverbände. Insgesamt befindet sich ein Großteil der Anlagen in Bayern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen (siehe Abbildung 5-9).

Tierkörperverarbeitungsbetriebe haben in ihrer Funktion in erster Linie einen **Entsorgungsauftrag** zu erfüllen. Realisiert wird dies durch die sog. verursachergerechte Verwertung, wonach Rohmaterialien noch einmal eingeordnet werden nach (u. a. /21/):

- * **Pflichtware.** Hierzu zählen Rohmaterialien der Kat. 1 und Kat. 2 (siehe Tabelle 5-1), die innerhalb eines gesetzlich geregelten Einzugsgebietes zu entsorgen sind. Zudem unterliegt diese Ware der Lieferschein- und Meldepflicht.
- * **Freie Handelsware.** Dies umfasst Rohmaterialien der Kat. 3, die zwischen den TKV bzw. mit den Abgabebetrieben (wie Schlachtereien und Fleischmehlindustriebetrieben) sowohl regional als auch überregional gehandelt werden können. Ihr Anteil am Gesamtaufkommen ist in der Regel geringer als das der Pflichtware. Im Normalfall verfügen TKV über Überkapazitäten, um im Fall eines unvorhersehbaren Seuchenausbruches schnell handlungsfähig zu sein, d. h. große Kapazitäten an zu beseitigenden Tierkörpern in entsprechend kurzen Zeiträumen verarbeiten zu können. Um kostenminimierend zu arbeiten und die spezifischen Entsorgungskosten entsprechend anzupassen, werden diese Überkapazitäten im Regelfall durch die Verarbeitung von Rohmaterial der Kat. 3 ausgelastet.

Aus logistisch-ökonomischen Gründen werden verschiedenen Materialkategorien (Kat. 1 bis Kat. 3) in der Praxis bei der Rohmaterialentsorgung durch die zuständigen TKV vereinzelt nur bei Großbetrieben¹² getrennt abgeholt. Bei Kleinbetrieben erfolgt keine Trennung /37/.

Wie die Statistik des Verbandes der Fleischmehlindustrie widerspiegelt, ist die Menge des jährlich verarbeiteten Rohmaterials seit dem Jahr 2001 gesunken. Während das Aufkommen im Jahr 2002 im Vergleich zum Vorjahr um 6,8 % zurückgegangen ist, zeigen die Zahlen von 2003 einen weiteren Rückgang von 4,3 %. Insgesamt ist das Rohmaterialaufkommen jedoch als weitgehend stabil einzustufen.

Die Auswirkungen des Verfütterungsverbotsgesetz (VerfVerbG vom Dezember 2000) infolge der BSE-Krise können anhand der Daten für die Jahre 2000 und 2001 gut nachvollzogen werden. Eine Trennung der Eingangsmaterialien nach spezifiziertem Risikomaterial (SRM) und gefahrfreiem Material, sog. „Low risk material“ (LRM), fand erst ab 2000 statt, die Einteilung in die verschiedenen Risikogruppen (Kat 1 bis Kat 3) erfolgte mit der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002. Für das Jahr 2004 erfolgte dann erstmals die statistische Erfassung

¹² Großbetriebe sind Betriebe, bei denen regelmäßig monatlich mehr als 75 t Schlacht- und Zerlegeabfälle (ohne Schlachtblut) anfallen und in Großcontainern entsorgt werden.

gemäß der Kategorisierung des Rohmaterials entsprechend der verarbeiteten Kategorien (vgl. Kapitel 5.2). Nicht in der Statistik enthalten sind die in sog. Fettschmelzen verarbeiteten Nebenprodukte der Schlachtung (d. h. Fette, die für die Humanernährung verwertet werden). Für das Jahr 2004 werden erstmals auch keine innerhalb der Verarbeitungsbetriebe tierischer Nebenprodukte anfallenden Speisereste erfasst, dass sich in einem vergleichsweise geringeren Rohmaterialaufkommen in Höhe von etwa 2,43 Mio. t widerspiegelt (Abbildung 5-3).

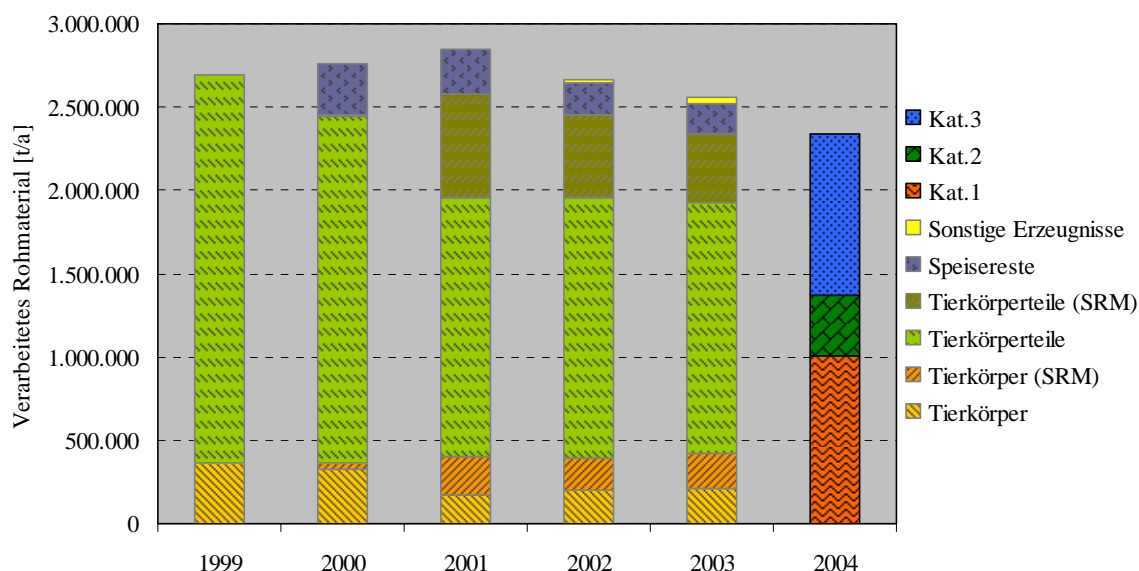


Abbildung 5-3: Verteilung des verarbeiteten Rohmaterials von 1999 bis 2004 /6/ bis /9/

Spezifiziertes Risikomaterial hat am gesamten Rohstoffaufkommen einen Anteil von etwa 25 bis 30 %. In Summe ist bei der anfallenden SRM-Menge in den vergangenen drei Jahren ein starker Rückgang zu verzeichnen (zwischen 2002 und 2003 etwa 10 %). Dieser Rückgang deutet auf eine Optimierung der Abtrennungsvorgänge von SRM hin. In der Vergangenheit konnten SRM kaum exakt erfasst werden, da in vielen Verarbeitungsbetrieben Kat. 1-Material mit anderen Rohmaterialien (d. h. Kat. 2 und/oder Kat. 3) in einer Linie verarbeitet wurde und damit nur als Kat. 1-Material verwendet werden durfte (siehe Tabelle 5-1). Nunmehr erfolgt zunehmend eine Trennung der Rohmaterialien; für die Trennung anfallenden Kosten können – im Kontext der angestrebten höheren Wertschöpfung – durch eine höhere Verwertung ausgeglichen werden /8/. Dies geschieht zum einen innerhalb der verarbeitenden Betriebe sowie zum anderen über die Verteilung zwischen den Betrieben im regionalen Raum. Für Hessen beispielsweise, das über zwei TKV verfügt, wird in einem der Betriebe nur Material der Kat. 2 verarbeitet und angenommene SRM (Kat. 1) an den anderen Betrieb abgegeben; Gleiches gilt für Rheinland-Pfalz /21/.

Speisereste, die in den Verarbeitungsbetriebe tierischer Nebenprodukte verwertet werden, sind im Hinblick auf Vollständigkeit zwar aufgeführt, lassen jedoch keine Rückschlüsse auf die Gesamtverwertung von Speiseresten zu /8/. Es ist davon auszugehen, dass jährlich etwa 1,8 bis 2 Mio. t Speiseabfälle aus der Zubereitung und beim Verzehr von Mahlzeiten in der

Gastronomie und in Einrichtungen der Gemeinschaftsverpflegung sowie den rund 400 Betrieben der Speiserestverarbeitung in Deutschland anfallen.

5.3.2 Produkte, deren Nutzung- und Verwertungspfade

Grundsätzlich wird gemäß den Zielsetzungen der Verarbeitungsbetriebe tierischer Nebenprodukte die Verwertung der anfallenden Rohmaterialien auf der höchst möglichen Wertschöpfungsebene angestrebt, die unschädlich für die tierische und menschliche Gesundheit und zudem frei von Umweltbelastungen ist /11/. Traditionell werden die hergestellten Produkte nach ihrer stofflichen Herkunft unterschieden. Die in Tabelle 5-1 vorgestellte Kategorisierung trifft ebenso für die in der Tierkörperverarbeitung hergestellten Produkte zu.

Derzeit erfolgt entsprechend der Genehmigung (vgl. Kapitel 5.1) die Verarbeitung des angelieferten Rohmaterials im Regelfall nach der **Drucksterilisation** (Methode I) gemäß (EG) Nr. 1774/2002, wobei nach dem Zerkleinern des Rohmaterials die tierischen Nebenprodukte „auf eine Kerntemperatur von über 133 °C erhitzt und bei einem durch gesättigten Dampf erzeugten (absoluten) Druck von mindestens 3 bar mindestens 20 Minuten lang ununterbrochen auf dieser Temperatur gehalten“ werden müssen. Diese Drucksterilisation kann als einmaliger Prozess bzw. als Vor- oder Nachbehandlung im Chargen- oder in kontinuierlicher Arbeitsweise erfolgen /14/. Durch dieses Verfahren ist eine Abtötung aller Bakterien und Keime garantiert. Die anfallenden Abwässer von Reinigung und Zerkleinerung werden ebenfalls sterilisiert. Nach der Drucksterilisation wird das Material in einem Trocknungsprozess entwässert und entsprechend separiert. Als Produkte entstehen Tiermehl und Tierfett, die anschließend einer entsprechenden Nutzung zugeführt werden.

Rohmaterial der Kat. 2 (d. h. ausschließlich Exkreme von Nutztieren und sauber vom Magen-Darm getrennte Magen-Darm-Inhalte sowie Kolostrum und Milch) darf ohne gesonderte Vorbehandlung in Biogasanlagen eingesetzt werden. Mit einer behördlichen Sondergenehmigung (vgl. Kapitel 5.1) kann Rohmaterial der Kat. 3 nach einer **Pasteurisierung** gemäß (EG) Nr. 1774/2002 Anhang VI, Kapitel II (d. h. material der Mindestteilchengröße von 12 mm muss bei einer Mindesttemperatur von 70 °C mindestens 60 min behandelt werden) von Biogasanlagen zugeführt werden /14/.

Ein Überblick über die Verarbeitung und Verwertung von Rohmaterial ist in Abbildung 5-4 dargestellt.

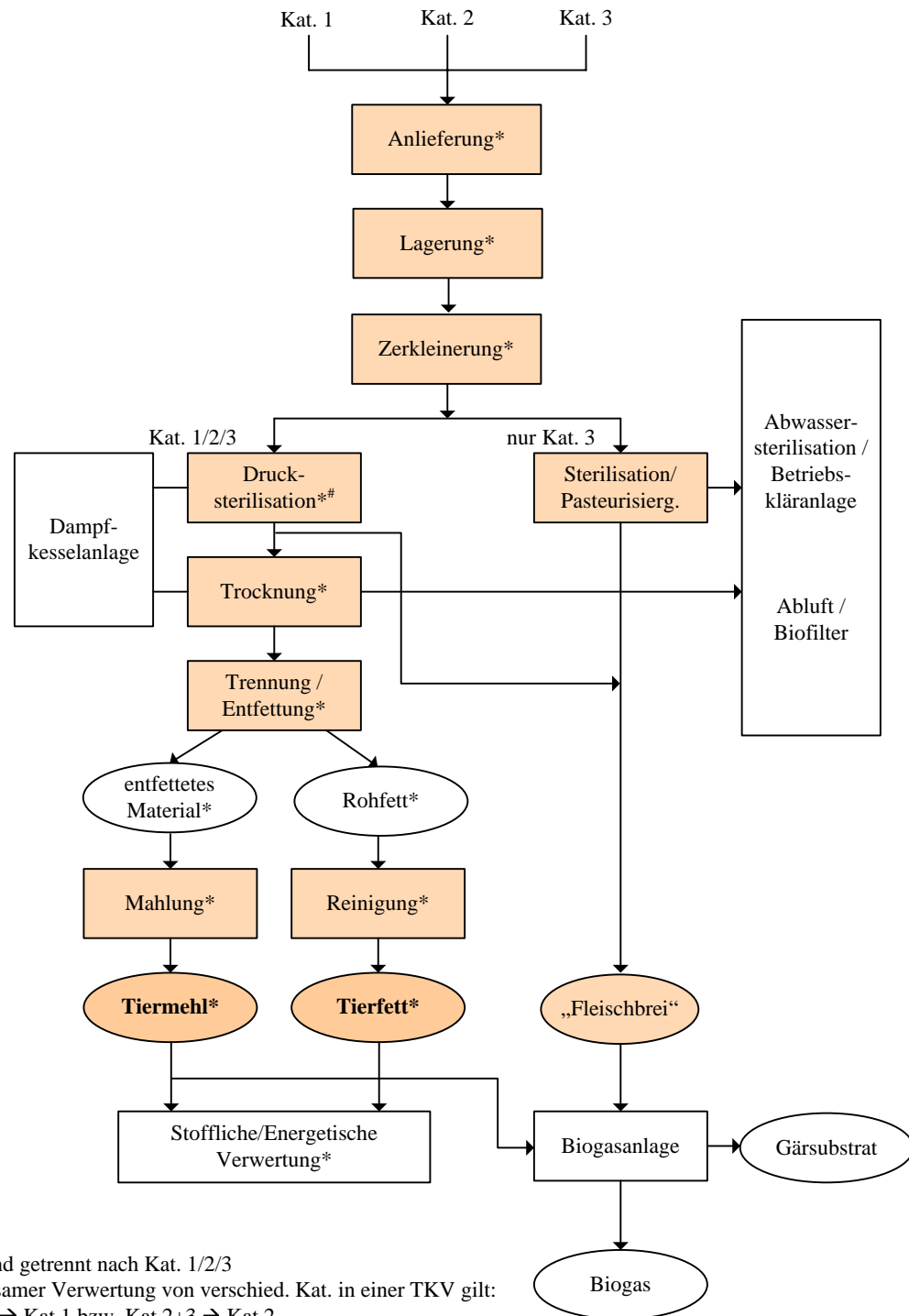


Abbildung 5-4: Mögliche Verfahrensprozesse bei der Tierkörperbeseitigung (für die Sterilisation zu Fleischbrei kommen nur Rohmaterialien der Kat. 3 in Frage) /10/, /13/

Im Regelfall wird dabei der Weg der Rohmaterials vom Ort des Anfalls (zumeist Schlachthöfe bzw. Zerlegebetriebe) über seine Verarbeitung zu tierischen Nebenprodukten entsprechend der verschiedenen Kategorien bis hin zur Abgabe von Tiermehlen und -fetten über entsprechende Begleitdokumente (z. B. am Schlachthof Verpflichtungserklärung über

ordnungsgemäße Trennung der Rohmaterialien, Eingangskontrolle an TKV, Handelspapiere zum Versand an Abnehmer) /20/.

Bestandsaufnahme bezüglich der anfallenden Produkte

Die in den vergangenen Jahren vom Verband der Verarbeitungsbetriebe tierischer Nebenprodukte e. V. erfassten Produktmengen sind in Abbildung 5-5 aufgezeigt. Gemessen am Rohstoffaufkommen beläuft sich die Produktausbeute in den TKV auf 40 bis 43 %.

Tiermehl hat dabei den größten Anteil an hergestellten Produkten. Die wichtigsten Produkte neben Tiermehl sind Fleischknochenmehl sowie Tier- und Knochenfett. Eine deutlich geringe Bedeutung haben Blutmehl-, Federn- und Geflügelmehl. Analog dem Rohmaterialaufkommen wird Flüssigfutter 2004 nicht mehr aufgeführt.

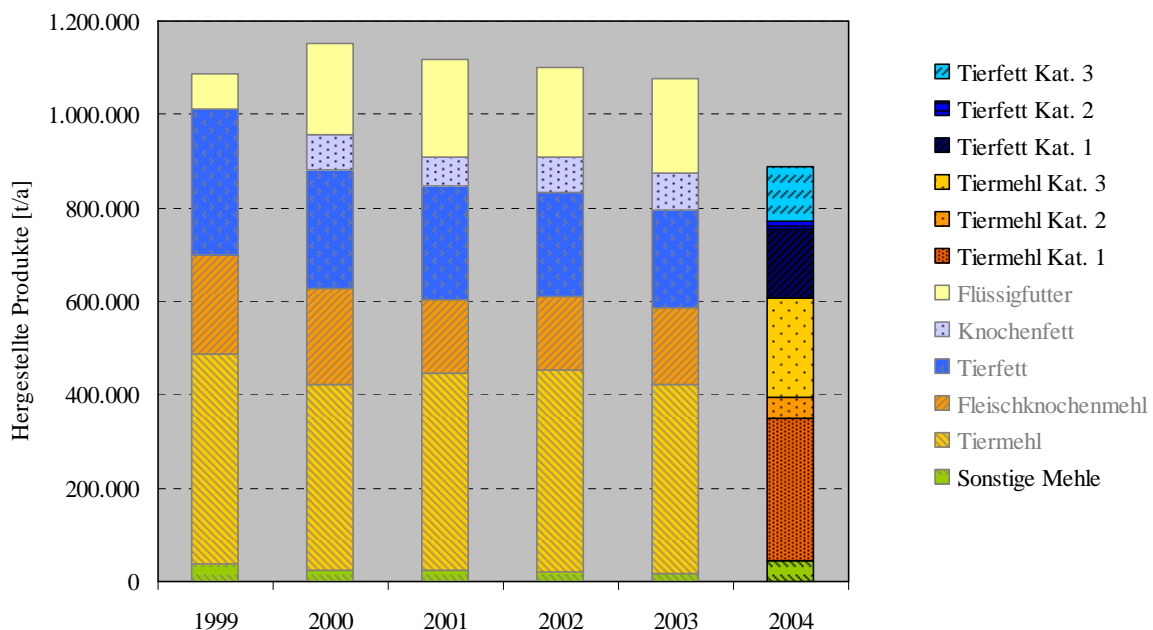


Abbildung 5-5: Verteilung der in der hergestellten tierischen Nebenprodukte von 1999 bis 2004

Die aus den verschiedenen Risikokategorien hergestellten Produkte lassen sich analytisch nicht voneinander unterscheiden. Eine in der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 vorgeschriebene Regelung zur entsprechenden Kennzeichnung (z. B. Einfärbung oder Vergällung) findet in der Praxis bislang keine Umsetzung /13/. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass es kaum geeignete Marker gibt. Im Rahmen von EU-Ringversuchen wird gegenwärtig u. a. der Marker GTH (nichtnatürliches, biologisch abbaubares Fett) wird in Lünen, Deutschland, sowie Guer und Plouvara, Frankreich, getestet /20/.

Nachfolgend werden die verschiedenen Produkte aus der Tierkörperverwertung (TNP¹³) kurz klassifiziert.

- * **Tiermehl** im engeren Sinn wird aus sog. gefallenen Tieren (etwa 13 bis 15 % des Nutztierbestandes) hergestellt, die generell nicht zum menschlichen Verzehr bestimmt sind. Hinzu kommen BSE-verdächtige Bestandteile und verdorbene Schlachtabfälle, die unbehandelt nicht mehr zum Verbrauch geeignet ist. Dieses nach Kat. 1 spezifizierte Risikomaterial macht in Summe etwa 34 % des gesamten Produktaufkommens aus. In der Vergangenheit verstärkt, heute zunehmend weniger, wird es teilweise mit weniger belastetem Material der Kat. 2 und Kat. 3 vermischt.
- * **Fleischknochenmehl** (FKM) wird hergestellt aus Knochen mit anhaftenden Fleischresten von Tieren, deren Schlachtung zur kommerziellen Verwertung erfolgte. Gewöhnlich fällt es unter die Produkte der Kat. 3. Es darf „jedoch keine Anzeichen einer auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit zeigen“/14/. Um den Übertragungsweg vom Tier zum Menschen auszuschließen, ist der Einsatz als Futtermittel heute bis auf Ausnahmen (d. h. FKM der Kat. 3, die in der Futtermittelindustrie verarbeitet) verboten. Der Anteil von FKM an der hergestellten Produktmenge liegt in Größenordnungen von etwa 14 bis 15 %.
- * **Blutmehl** ist ein Nebenprodukt, das insbesondere aus in den Schlachthöfen anfallendem Blut hergestellt wird, und hat einen marginalen Anteil an der gesamten Produktionsmenge von etwa 2%. Einzuordnen ist Blutmehl in die Kat. 3.
- * **Federnmehl** wird aus Geflügelfedern gewonnen. Es zählt zum Material der Kat. 3. Die Menge an Federnmehl ist in den vergangenen Jahren gestiegen, der Anteil an der gesamten Produktionsmenge betrug im Jahr 2003 jedoch nur 1 %.
- * **Geflügelproteine** oder Geflügelmehl sind Tiermehle aus Geflügelschlachtabfällen und gewöhnlich Material der Kat. 3.
- * **Tierfett** entsteht bei der Entfettung in den TKV sowie in Spezialbetrieben, die als sog. Fettschmelzen bezeichnet werden. Je nach Herkunft, fällt Tierfett aus TKV¹⁴ unter die Kat. 1, Kat. 2 und Kat. 3. Die Produktmenge an Tierfett ist in den vergangenen Jahren kontinuierlich gesunken, der Anteil an der gesamten Produktionsmenge im Jahr 2003 beträgt etwa 19%.
- * **Knochenfett** entsteht bei der Entfettung von Tierkörpern, Fleischknochen und Knochen in Tierkörperbeseitigungsanstalten sowie in Fettschmelzen. Der Anteil von

¹³ tierische Nebenprodukte, nachfolgend als TNP bezeichnet

¹⁴ Nur dieses wird in der hier ausgewerteten Statistik betrachtet (vgl. Kapitel 5.3.1).

Knochenfett an der gesamten Produktionsmenge ist in den letzten Jahren gestiegen und betrug 2003 etwa 5 bis 7%.

- * **Flüssigfutter** umfasst die Produktgruppe, die aus Speiseresten hergestellt wird und wie diese der Kat. 3 zugehörig ist.

Bestandsaufnahme bezüglich der Nutzungs- und Verwertungspfade

Im Folgenden werden die aktuellen Nutzungs- bzw. Verwertungswege sowie der für die Produkte der verschiedenen Kat. 1 bis 3 typische Pfad dargestellt. Durch Wegfall des Futtermittelabsatzes (d. h. stoffliche Nutzung höchster Wertschöpfung) infolge des Verfütterungsverbotsgesetzes (VerfVerbG, 2000) fand ab 2001 eine Verlagerung der Schwerpunkte hin zur technischen Verwendung (d. h. stoffliche Nutzung, z. B. als Düngemittel) und zur thermischen Verwertung (d. h. energetisch Verwertung einerseits in Form der thermischen Beseitigung und andererseits als Ersatzbrennstoff) statt.

- * **Futtermittelabsatz.** Kat. 3-Produkte hoher Qualität, wie Fleischknochen-, Blut- und Federmehl und Fette sowie Flüssigfutter werden in der Heimtiernahrungsindustrie genutzt. Dabei weist der Einsatz von Mehl und Fette eine zunehmende Tendenz auf (2003 etwa 5% aller Mehle sowie etwa 4% aller Fette), während der Anteil des genutzten Flüssigfutters abnahm und 2003 noch 67% betrug.
- * **Technische Verwendung.** Insbesondere TNP der Kat. 3 finden i.d.R. als Mehl in der Düngemittelindustrie Absatz; Fette werden stark nachgefragt in der Oleochemie¹⁵. Fette werden auch als Rohstoff für die Biodieselherstellung, eingesetzt, wie bislang in einer Anlage in Malchin demonstriert wird. Während der Anteil der in der Düngemittelindustrie genutzten Mehle seit 2001 rasant zunahm (Verdopplung von 2002 zu 2003, 2004 etwa 38 % der Mehle insgesamt), sank der Anteil der in der Oleochemie genutzten Fette signifikant (2004 etwa 47 % aller Fette). Seit 2002 fand insbesondere Flüssigfutter (Kat. 3) zunehmend als Kosubstrat den Weg der energetischen Verwertung in Biogasanlagen sowie der anschließenden Nutzung der Gärreste als Düngemittel (2003 etwa 33 % des Flüssigfutters insgesamt). Gegenwärtig ist festzustellen, dass viele der bestehenden Kleinanlagen wieder aus der Kovergärung aussteigen und stattdessen auf den Einsatz von NawaRo setzen. Nur wenige große, aber qualifiziertere bestehende Anlagen bleiben aktuell im Geschäft.
- * **Thermische Verwertung.** Produkte der Kat. 1 und Kat. 2 werden einerseits der thermischen Beseitigung in Haus- und Sondermüllverbrennungsanlagen (MVA) zugeführt und zum anderen als Sekundärbrennstoff in der Zement- und Stahlindustrie sowie als Ersatzbrennstoff in (Heiz-)Kraftwerken verwertet. Dabei hat zunehmend eine

¹⁵ Aufgrund der Prozessparameter bei der Herstellung von Ölsäure dürfen mit Genehmigung ebenso Kat. I-Fette verwertet werden.

Verschiebung der thermischen Beseitigung hin zur Verwertung stattgefunden, wenngleich der Anteil der eingesetzten Mehle (2004 etwa 55 % aller Mehle) und Fette (2004 etwa 31 %) insgesamt gesunken ist. Fette der Kat. 1 (2004 etwa 23 % der Fette insgesamt) werden zunehmend in den TKV für die erforderliche Dampfbereitstellung neben Heizöl EL und Erdgas in sog. Mischbrennern eingesetzt. Generell fallen in den Verarbeitungsbetrieben immer mehr Produktmengen an, als zur Energiegewinnung innerhalb des Verarbeitungsbetriebs eingesetzt werden können, auch dann, wenn man vollständig auf andere Energieträger verzichtet /11/.

Hinsichtlich der Verteilung der Produkte (d. h. Mehle, Fette und Flüssigfutter) zeigt sich dabei folgendes Bild (Abbildung 5-6):

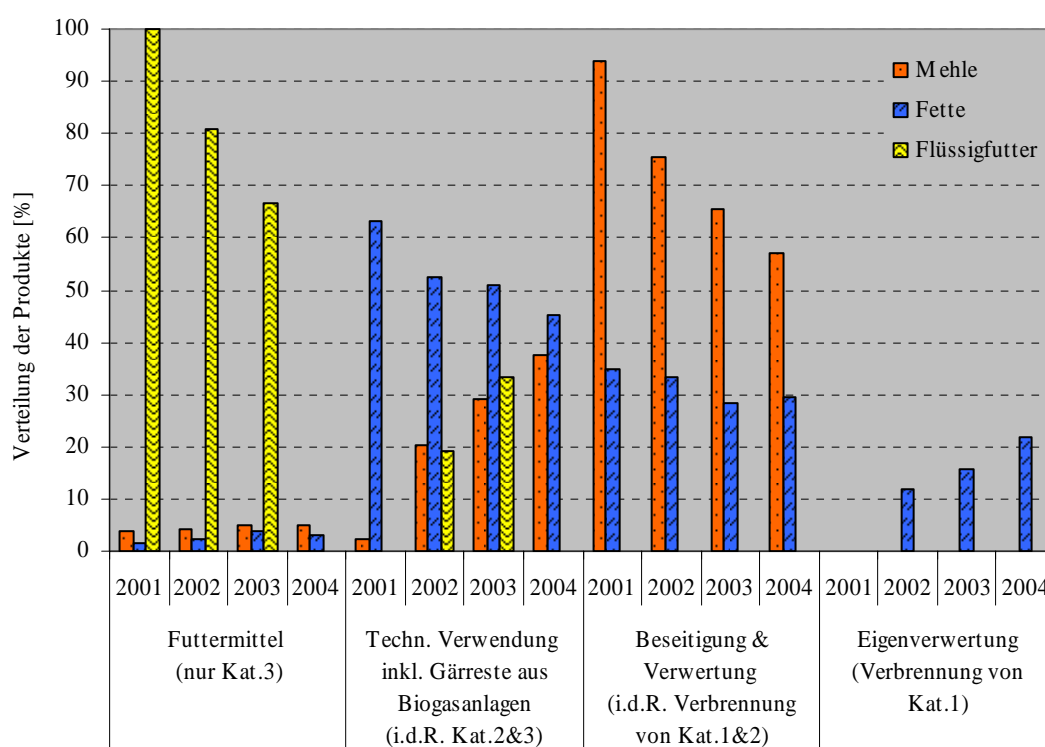


Abbildung 5-6: Verteilung der Nutzung und Verwertung von TNP zwischen 2001 bis 2004 /6/ ff.

Die Veränderung in den o. g. Nutzungs- und Verwertungspfaden wird in Abbildung 5-7 veranschaulicht. Wie die Datenanalyse hinsichtlich der Produktverwendung für die vergangenen Jahre deutlich macht, sind die Anteile der stofflichen Nutzung und energetischen Verwertung mit jeweils 50 % gleich.

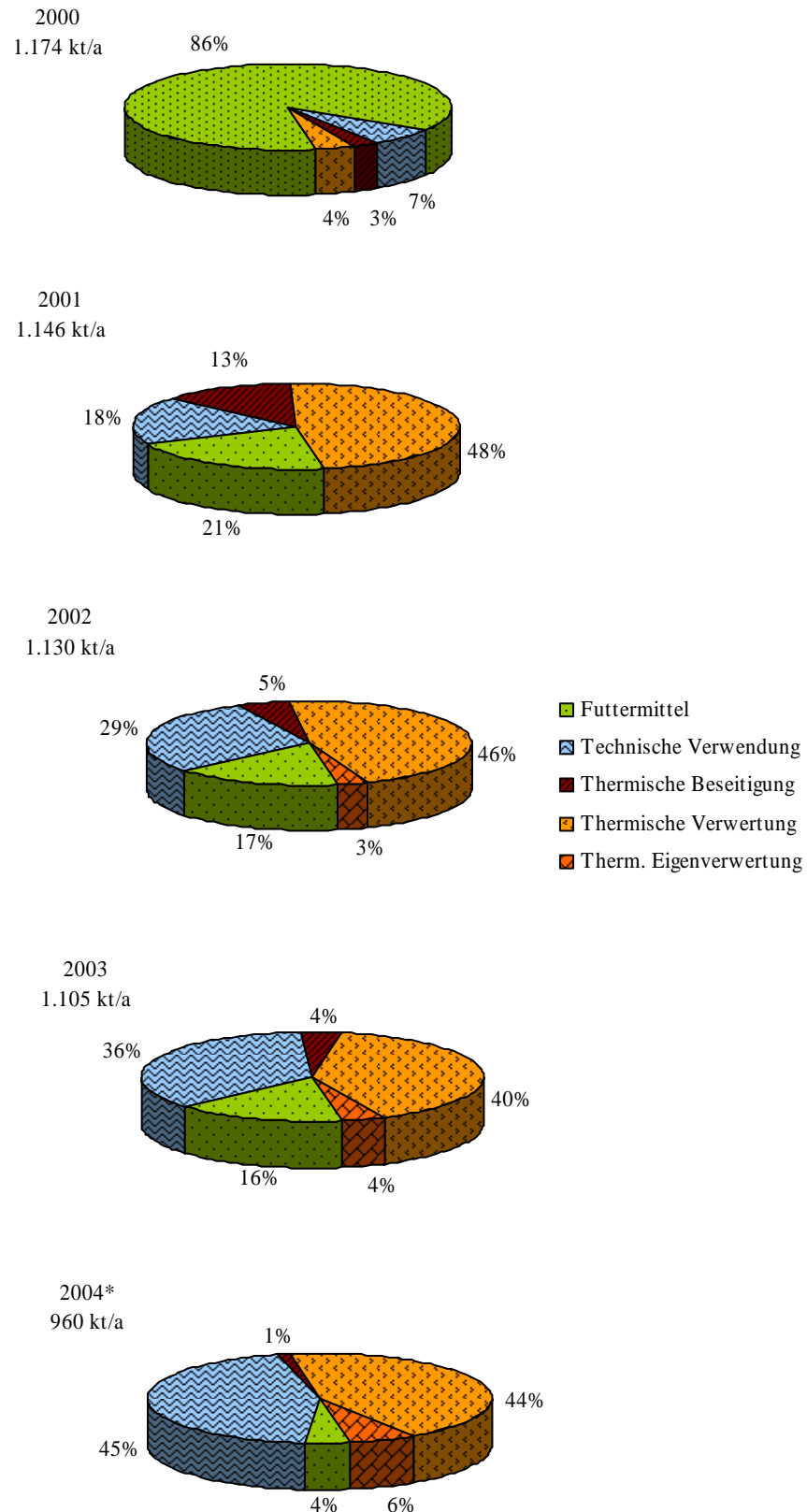


Abbildung 5-7: Entwicklung der stofflichen Nutzung und energetischen Verwertung von TNP zwischen 2000 und 2004 (* exklusive Flüssigfutter)

5.3.3 Regionale und überregionale Stoffströme

Für die Beurteilung der relevanten Stoffströme ist – wie bereits erwähnt – zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur eine belastbare Datengrundlage auf Bundesebene verfügbar. Eine statistische Erfassung von anfallenden Rohmaterialien sowie tierischen Nebenprodukten wird nur von einigen wenigen statistischen Landesämtern, Veterinärbehörden respektive zuständigen Landesministerien durchgeführt /32/ ff.

Regionale Verteilung des Rohmaterialaufkommens

Da die gegenwärtige Datenlage keine quantitativen Aussagen hinsichtlich regionaler Stoffströme auf Länderebene erlaubt, wird daher eine qualitative Einschätzung der regionalen Verteilung basierend auf der Auswertung der Statistik der bundeslandspezifischen Schlachtmengen für das Jahr 2003 (siehe Abbildung 5-8) vorgenommen.

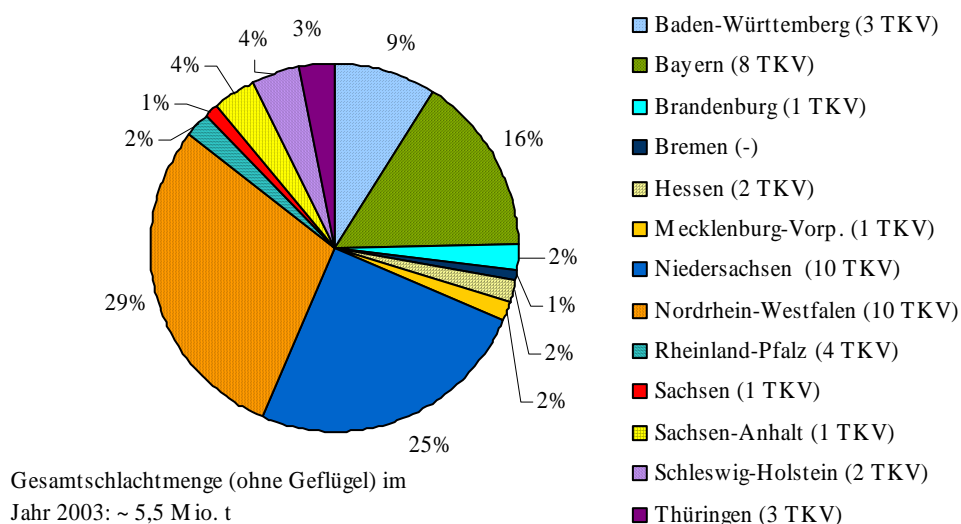


Abbildung 5-8: Anteile der Bundesländer an der Gesamtschlachtmenge 2003 (Anzahl der TKV) /32/

Die Statistik macht deutlich, dass Bundesländer mit großem Anfall an Schlachtmengen bzw. an entsprechenden Schlachtabfällen (Rohmaterialien) im Zusammenhang mit den entsprechenden behördlich festgelegten Einzugsgebieten für die Entsorgung der Pflichtware (vgl. Kapitel 5.3.1) über die meisten TKV verfügen. Dazu zählen im wesentlichen Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Bayern und Baden-Württemberg. Bundesländer wie das Saarland, die Hansestädte und Berlin entsorgen ihre Schlachtabfälle über die TKV der Nachbarbundesländer.

Einen kartographischen Überblick über die Standorte der Tierkörperverwertung in den einzelnen Bundesländern gibt die Abbildung 5-9.

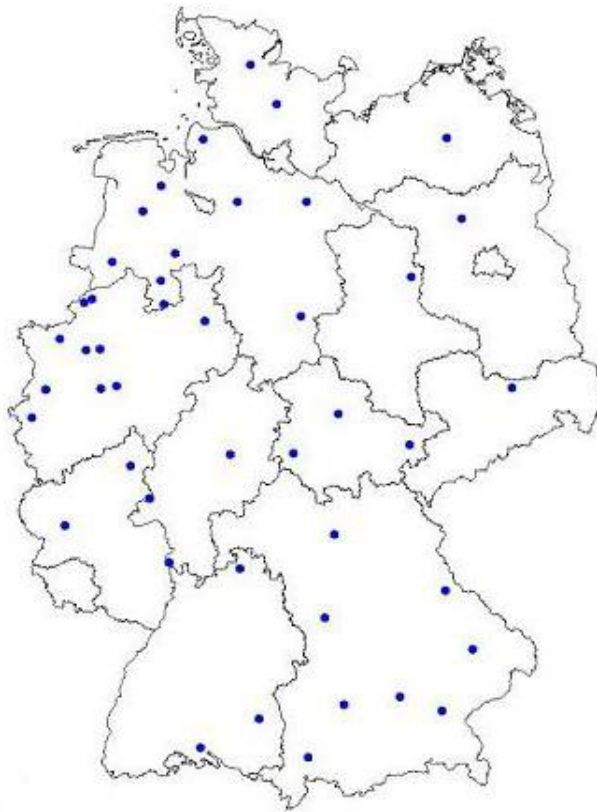


Abbildung 5-9: Kartographischer Überblick über TKV in Deutschland /11/

In diesen Betrieben werden jährlich in Summe etwa 2,5 Mio. t/a an Rohmaterial der verschiedenen Kategorien verarbeitet.

Regionale Verteilung der Verwertungsanlagen von TNP

Eine kartographische Übersicht zu den Anlagen, die behördlich befugt sind, verarbeitete Rohmaterialien und daraus hergestellte Verarbeitungserzeugnisse (TNP) zur thermischen Verwertung (d. h. Verbrennung) entgegenzunehmen gibt die Abbildung 5-10. Demnach werden Tiermehle und Tierfette genutzt in /26/:

- * 30 Zementwerken – darunter 20 Anlagen, die nur Tiermehl, drei Anlagen, die nur Tierfett sowie vier Anlagen die beides als Sekundärrohstoff nutzen¹⁶
- * 39 Müllverbrennungsanlagen (davon 4 Sondermüllverbrennungsanlagen) – darunter 27 MVA, von denen ein ausschließlicher Tiermehleinsatz bekannt ist (siehe Kapitel 4.4.1)
- * 25 (Heiz-)Kraftwerken – darunter 14 Anlagen, die nur Tiermehl sowie drei Anlagen, die sowohl Tiermehl als auch Tierfett als Kohlesubstitut einsetzen

¹⁶ Nach /29/ betrug der in der deutschen Zementindustrie im Jahr 2003 genutzte Anteil von Tiermehl und Tierfett an den eingesetzten Sekundärbrennstoffen etwa 26%; dies entspricht 452.000 t/a (etwa 72.000 t/a mehr als im Vorjahr) /31/. Dem gegenüber stehen 444.300 t/a an Tiermehl und Tierfett, die im gleichen Jahr den Weg der thermischen Verwertung (d. h. Verbrennung) gegangen sind.

- * vier Stahlwerke, in denen maßgeblich Tierfett genutzt wird
- * sieben weitere Anlagen, z. B. Kalkwerk, Pharmaindustrie, Klärschlammverbrennung

Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass in einer Reihe von Biogasanlagen, die durch behördliche Einzelfallgenehmigungen dazu befugt sind, Kat. 3-Material (d. h. in erster Linie Speiseabfälle) als Biomasse im Sinne der BiomasseV zu verwerten (vgl. Kapitel 5.1) und die Gärreste entsprechend einer stofflichen Nutzung zuzuführen. Eine belastbare Datengrundlage über die Anzahl dieser Biogasanlagen ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht verfügbar /44/ f..

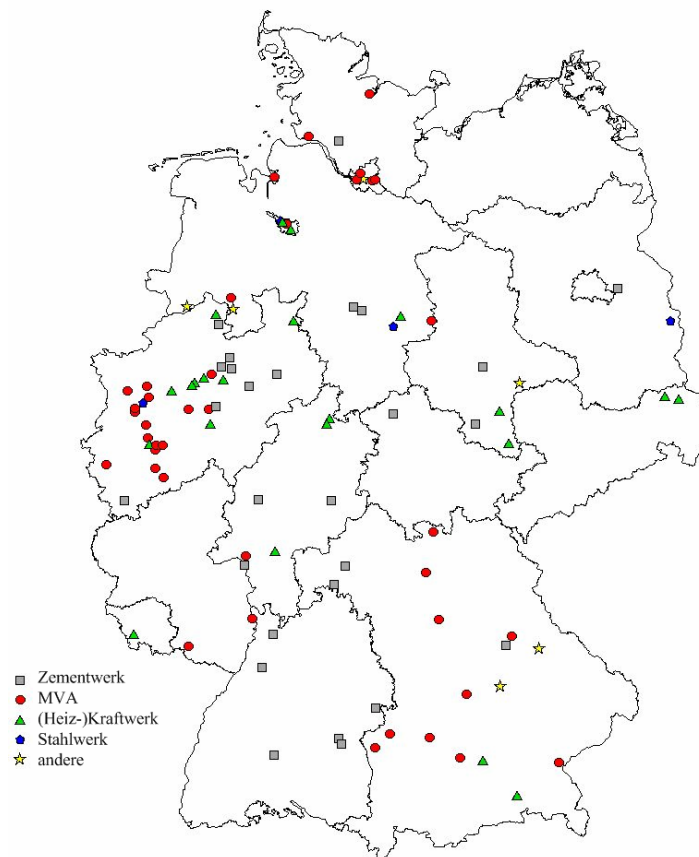


Abbildung 5-10: Übersicht zu Anlagen für die thermische Beseitigung und die energetische Verwertung durch Mitverbrennung in Deutschland

Überregionaler Handel sowie Import und Export

Anders als die Rohmaterialien (d. h. insbesondere Pflichtware) werden die Produkte (TNP) überregional gehandelt. Innerhalb der Europäischen Union besteht ein umfangreicher Handel mit TNP, darunter insbesondere Tiermehle der Kat. 2 und 3, die als Düngemittel gehandelt werden. Wenngleich jede Lieferung von TNP der Kat. 1 bis 3 durch ein Handelspapier begleitet sein muss, ist insbesondere für das als Düngemittel gehandelte Tiermehl keine lückenlose Prüfung nach Verlassen des Herstellungsbetriebes zum Endverbraucher möglich. Dies ist bedingt durch noch offene Gesetzeslücken im nationalen und Gemeinschaftsrecht. Gegenwärtig existiert nur eine ungenügende behördliche Meldepflicht seitens der Hersteller,

Händler und Verwender von TNP; innerhalb Europas gibt es - mit Ausnahme des abfallrechtlichen Notifizierungsverfahrens - kein einheitliches Meldewesen für Ein- und Ausfuhren von TNP /36/, /41/.

Beispielsweise sollen im Jahr 2003 79.000 t/a Tiermehl von Dänemark nach Deutschland importiert worden sein /36/. Allein nach Schleswig-Holstein wurden dabei im Jahr 2003 etwa 16.200 t/a an Tiermehl importiert; für das Jahr 2004 waren es mehr als 20.250 t/a /41/. In Schleswig-Holstein worden im Jahr 2003 etwa 44.200 t/a, 2004 mehr als 32.200 t/a in den zugelassenen Mitverbrennungsanlagen¹⁷ entsorgt. Den Einsatz als Düngemittel fanden mehr als 16.900 t/a im Jahr 2004 /41/. Einen zusammenfassenden Überblick gibt die Tabelle 5-3.

Tabelle 5-3: Überregionale Stoffströme am Beispiel Schleswig-Holsteins im Hinblick auf Produktion, Import und Verwertung von Tiermehl /41/

| [t/a] | Produktion an Tiermehl (2 TKV) | Import insgesamt (Anteil aus Dänemark) | Thermische Verwertung durch Mitverbrennung | Technische Nutzung als Düngemittel |
|-------|--------------------------------|--|--|------------------------------------|
| 2003 | 35.843 | 19.351 (16.179) | 44.149 | k. A. |
| 2004* | 31.140 | 20.356 (20.250) | 32.198 | 16.900 |

* Stand November 2004

Nach Bayern worden 2004 etwa 38.100 t/a Tiermehl importiert; darunter etwa 75 % aus anderen Bundesländern. Der andere Teil entstammt Importen aus EU-Mitgliedsstaaten (v. a. Niederlande, Belgien, Frankreich und Italien) und einem geringen Anteil aus dem Drittland Indien. Bei dem verbrachten Tiermehl handelt es sich vornehmlich um Mehl der Kat. I, das entsprechend verbrannt wurde¹⁸. Aus Bayern exportiert worden 2004 hingegen 520 t/a Tiermehl (etwa 77 % weniger als im Vorjahr) sowie ca. 17.800 t/a Tierfett.

¹⁷ Nach /26/ sind dies drei Anlagen, darunter zwei Müllverbrennungsanlagen.

¹⁸ In den 18 zugelassenen Verbrennungsanlagen worden 2004 etwa 73.700 t/a Tiermehl verbrannt. Die Jahre zuvor war die erheblich mehr (2002: 152.000 t/a; 2003: 86.700 t/a) .

5.3.4 Energetisches Potenzial tierischer Nebenprodukte

Aufbauend auf den zuvor aufgezeigten Verarbeitungs- und Verwertungssituation tierischer Nebenprodukte erfolgt nachfolgend eine Abschätzung der energetischen Potenziale. Für die Potenzialbetrachtung werden folgende Rahmenbedingungen zugrunde gelegt:

- * Anfall tierischer Nebenprodukte (TNP, wie Tiermehle, -fette) unter Berücksichtigung der Nutzungssituation für das Jahr 2003 sowie dem Szenario „pro energetische Verwertung“
- * mittlerer Heizwert für (i) Tiermehle 19 MJ/kg, (ii) Tierfette 37 MJ/kg und (iii) Flüssigfutter 7 MJ/kg

Demnach ergibt sich unter Vernachlässigung der Konkurrenz zwischen stofflicher Nutzung und energetischer Verwertung ein Energieträgerpotenzial für tierische Nebenprodukte von etwa 24 PJ/a in Summe. Unter Berücksichtigung der Situation für das Jahr 2003 umfasst das **Potenzial etwa 13 PJ/a**. Ausgehend von einer zunehmenden energetischen Verwertung wird für das Szenario „pro energetische Verwertung“ ein Energieträgerpotenzial von etwa 17 PJ/a abgeschätzt. Die entsprechende Aufteilung kann Tabelle 5-4 und Abbildung 5-11 entnommen werden. Der Anteil von Tiermehl am Gesamtpotenzial tierischer Nebenprodukte liegt dabei bei 48 bis 58%.

Tabelle 5-4: *Energieträgerpotenzial tierischer Nebenprodukte*

| [PJ/a] | ohne Berücksichtigung Nutzungskonkurrenz | mit Berücksichtigung Nutzungskonkurrenz | |
|---------------|--|---|---|
| | | Situation 2003 ^a | Szenario pro energet. Verwertung ^b |
| Tiermehl | 11,65 | 7,65 | 9,32 |
| Tierfett | 10,76 | 4,86 | 6,45 |
| Flüssigfutter | 1,41 | 0,47 | 1,41 |
| Total | 23,81 | 12,98 | 17,18 |

^a energetische Verwertung 2003, siehe Abbildung 5-6 (Flüssigfutter über Biogasanlagen erst energetisch, Gärreste stofflich verwertet)

^b Annahmen für Abschätzung: VerfVerbG bleibt bestehen, energet. Verwertung von 80 % der Tiermehle, 60 % der Tierfette sowie 100 % des Flüssigfutters

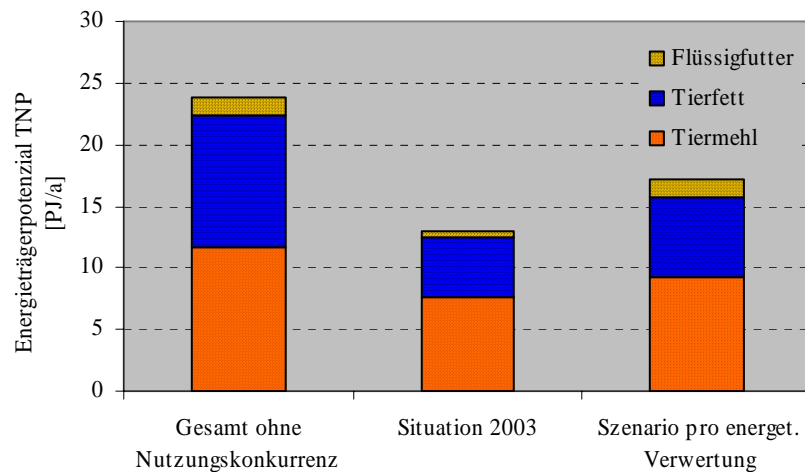


Abbildung 5-11: Energieträgerpotenzial tierischer Nebenprodukte

Gemessen am energetischen Gesamtpotenzial von Biomasse in Deutschland, das etwa 620 bis 1.360 PJ/a¹⁹ beträgt, wäre der Anteil der tierischen Nebenprodukte nur marginal (ca. 1 bis 2 % bezogen auf „Situation 2003“).

5.4 Wirtschaftliche Aspekte

Bei der Betrachtung der wirtschaftlichen Aspekte wird nachfolgend zunächst auf die gegenwärtige Preissituation für die Entsorgung tierischer Nebenprodukte aus der Tierkörperverwertung eingegangen. Im Anschluss daran wird die Wirtschaftlichkeit der potenziellen Stromerzeugung auf der Basis tierischer Nebenprodukte (TNP) untersucht.

5.4.1 Preissituation

Die Preissituation bei der Entsorgung tierischer Nebenprodukte wird maßgeblich durch zwei Kostenkomponenten bestimmt. Zum einen sind es die Kosten für die Verarbeitung der Rohmaterialien, die in Gebührensatzungen der einzelnen TKV festgelegt sind. Diese Gebühren- oder Entgeltsätze der einzelnen TKV gestalten sich in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich, teilweise gibt es seitens des Landes sowie der Tierseuchenkassen Bezuschussungen. Zum anderen sind es die anfallenden Entsorgungskosten respektive -erlöse für die Verwertung der hergestellten Produkte (z. B. Tiermehl, Fette etc.), die wiederum erheblichen Einfluss auf die Entsorgungsgebühren für die Rohmaterialien haben, indem selbige Differenzbeträge bei der Entsorgung der Produkte auffangen. Insbesondere bei den für die stoffliche und energetische Verwertung vorgesehenen Produkten ist die – in den vergangenen Jahren sehr dynamische – Preissituation dabei weitgehend intransparent.

¹⁹ Die Spannbreite ergibt sich durch unterschiedliche Annahmen, z. B. durch die Unterstellung unterschiedlicher Umwandlungspfade, unterschiedlichen Szenarien der stofflichen Nutzungsintensität und unterschiedlicher Anbaukulturen, die spezifische Energieerträge und Umwandlungspfade zur Folge haben.

Verarbeitungskosten für Rohmaterial in den TKV

Bei der Verarbeitung in TKV sind etwa 70 % des gesamten Aufwandes vom Rohmaterial zum entsprechenden TNP dem Einsammeln, Transport, Lagerung und Zerkleinerung des Rohmaterials zuzuschreiben. Die eigentliche seuchenhygienische Drucksterilisation sowie die prozessinterne Trocknung und Entfettung der Produkte nehmen etwa nur 30 % des Gesamtkostenaufwandes ein /21/. Der wirtschaftliche Betrieb einer TKV ist daher stark davon abhängig, in welchem Einzugskreis (d. h. zurück zu legenden Entfernungen für Erfüllung der Entsorgungsaufträge) welche Mengen an Rohmaterial verschiedenen Kategorien verarbeitet werden und welcher Anteil davon aus der Handelsware Kat. 3 besteht. Die erhöhten Aufwendungen für Einhaltung der seuchenhygienischen Vorgaben, insbesondere für Rohmaterialien der Kat. 1, spiegeln sich in erhöhten Entgelten für die Verarbeitung von Kat. 1-Rohmaterial wieder. Die für die Entsorgung des Rohmaterials zu entrichtenden Gebühren sind regional stark unterschiedlich. Diese reichen, je nach TKV und Entsorgermenge von etwa 20 €/t (Neckar-Franken, Baden-Württemberg), über 80 €/t und 135 €/t (Plattling-Rötz, Bayern) zzgl. Transportgebühren bis zu 205 €/t (Lenz, Sachsen) /38/, /39/, /40/.

Zudem ist von Bedeutung, ob TKV die betriebsinternen Kosten durch die Nutzung von Tierfetten der Kat. 1 als Brennstoffersatz reduzieren können. Die Verarbeitungskosten innerhalb der verarbeitenden Betriebe bewegen sich in einer Kostenspanne von etwa 69 bis 100 €/t Rohmaterial /21/.

Preise für die stoffliche und energetische Nutzung von TNP

Für den TNP-Verkauf von Tiermehlen und -fetten sowie Flüssigfutter zur stofflichen Nutzung (d. h. in erster Linie für TNP der Kat. 3) werden im Regelfall Entsorgererlöse erzielt. So werden beispielsweise Düngemittel auf Tiermehlbasis zu Preisen von 20 bis 30 €/t gehandelt /36/. Preise für Tierfette hingegen liegen – je nach Kategorie – mitunter bei mehreren einhundert €/t.

Für die energetische Verwertung ergeben sich für die Ermittlung der Entsorgungskosten verschiedene Gesichtspunkte. Generell ausschlaggebend sind vertraglich zwischen den TKV und entsprechenden Abnehmern geregelte Lieferverträge.

- * Bei der thermischen Beseitigung in MVA ersetzen TKV-Produkte (i. d. R. Kat. 1-Tiermehle) mit vergleichsweise höheren Heizwerten²⁰ je nach Auslastung der MVA vertraglich geregelte Abfallentnahmemengen. Bei Vollauslastung der MVA liegen die Entsorgungskosten für Tiermehl wesentlich höher (etwa 130 bis 460 €/t je nach MVA

²⁰ Während Tiermehl über einen Heizwert von etwa 16 bis 22 MJ/kg verfügt, hat der Abfall aus Haushaltungen einen Heizwert mit einer Bandbreite von nur etwa 5 bis 10 MJ/kg, hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle zeigen noch wesentlich höhere Schwankungsbreiten.

Jahreskapazität²¹⁾ als wenn die MVA freie Kapazitäten besitzt und durch die Mitverbrennung von Tiermehl zu einer wirtschaftlich besseren Auslastung der Anlage führt.

- * In der Vergangenheit, d. h. nach Einführung des VerfVerbG im Dezember 2000, mussten TKV-Betreiber für die Entsorgung der Tierprodukte in Zementwerken und Kohlekraftwerken Entsorgungskosten von etwa 100 bis 125 €/t entrichten. Durch positive Erfahrungen im Umgang mit dem Brennstoff Tiermehl bzw. Tierfett sowie die Option der Substitution fossiler Brennstoffe hat auch auf Seiten der Abnehmer ein Umdenken stattgefunden die Annahmekosten lagen 2002/2003 in Größenordnungen von 47 bis 50 €/t /21/. Sind für die Abgabe von Tiermehlen an Zementwerke sowie Kraftwerke gegenwärtig Annahmepreise zu zahlen, werden bei der Abgabe von Tierfett an die Stahlindustrie beispielsweise Erlöse erzielt.
- * Hinsichtlich der Verwertung von TNP in Biogasanlagen ist der Markt aufgrund gestiegener Nachfrage bezüglich biogener Substrate sowie veränderter Nachfragestrukturen angespannt; die Entsorgungserlöse seitens der Biogasanlagenbetreiber sind in den vergangenen Jahren gesunken. Gegenwärtig werden die Erlöse mit etwa 30 €/t angegeben.
- * Die Preisniveaus für den Einsatz von TNP – welche im Rahmen einer Befragung von Verarbeitungsbetrieben tierischer Nebenprodukte Ende 2004/Anfang 2005 erfasst wurden – können Tabelle 5-5 entnommen werden /22/.

Tabelle 5-5: Preisniveaus für energetische Verwertung von TNP

| Abnehmer | [€/t] |
|---|--------------------|
| Zementwerke (Tiermehl & -fett) | 3 – 8 bzw. 15 – 30 |
| Müllverbrennungsanlagen (i. d. R. Tiermehl) | 100 – 130 |
| Stahlindustrie (i. d. R. Tierfett) | 60 – 70* |
| (Heiz-)Kraftwerke (i. d. R. Tiermehl) | 5 – 15 |
| Biogasanlagen (i. d. R. Kat. 3-Flüssigfutter) | ~ 30 |

* Erlös

Derzeit kann kaum abgeschätzt werden, in welchem Maße sich mit der Änderung der TA Siedlungsabfall (TASi) zum 01.06.2005²² kurz- bis mittelfristig die Abnahmemengen sowie die Abnehmerstruktur für Produkte aus Tierkörperverarbeitungsbetrieben zur thermischen Verwertung ändern werden. Einerseits geht man beispielsweise in der Zementindustrie nicht

²¹ Diese Entsorgungskosten für Tiermehl würden sich – basierend auf dem höheren Heizwert für Tiermehl – ergeben, ginge man von typischen Kosten für die Müllverbrennung von etwa 65 bis 230 €/t Müll und einer Kostenneutralität aus.

²² Aufgrund der Vorgaben der TA Siedlungsabfall muss u. a. der organische Anteil der Siedlungsabfälle seit dem 1. Juni 2005 so weit verringert werden, dass die verbleibenden Reste weitgehend "immissionsneutral" abgelagert werden können. Dies kann nach dem heutigen Stand der Technik nur durch eine entsprechende Vorbehandlung (z. B. Abfallverbrennung) erreicht werden. Derzeit werden erst etwa ein Fünftel der anfallenden Siedlungsabfälle gemäß den Anforderungen der TA Siedlungsabfall thermisch vorbehandelt.

von signifikanten Änderungen hinsichtlich ihres Sekundärrohstoffeinsatzes, zu dem maßgeblich Tiermehle und –fette gehören, infolge der neuen TASI aus, wenngleich gegenwärtig eine gewisse Stagnation hinsichtlich des TNP-Einsatzes zu verzeichnen ist /30/. Zukünftig wird auch der Mitverbrennung von aufbereiteten Abfällen eine wachsende Bedeutung zukommen. Basierend darauf kann von einer zunehmenden Nutzungskonkurrenz zwischen Restsiedlungsabfall und TNP ausgegangen werden, die tendenziell in eher steigenden Entsorgungskosten münden wird.

5.4.2 Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung

Für eine Einschätzung der Wirtschaftlichkeit potenzieller Stromerzeugungsanlagen auf der Basis von TNP werden nachfolgend für die verschiedenen Stoffströme, Referenzanlagen nach dem aktuellen Stand der Technik definiert für die Vergärung von Fleischbrei aus Kategorie 3-Material (d. h. in erster Linie Speiseabfälle) aus der Industrie der Verwertung tierischer Nebenprodukte in Biogasanlagen

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dient ebenso der Einschätzung der Sachgerechtigkeit der aktuellen Gesetzeslage bezüglich der BiomasseV sowie des EEG. Dabei werden die folgenden Annahmen zugrunde gelegt:

- * Die Einschätzung eines wirtschaftlichen Anlagenbetriebes wird anhand der Gegenüberstellung von Stromgestehungskosten vorgenommen. Die Ermittlung dieser Kosten erfolgt mit der Annuitätenmethode, d. h. einmalige und periodische Zahlungen mit veränderlichen Beträgen werden in jährlich konstante Zahlungen transformiert.
- * Bei der Untersuchung der Stromgestehungskosten werden hinsichtlich der Wahl der Einsatzstoffe Grenzfälle aufgezeigt, d. h. ausschließliche Vergärung von tierischen Nebenprodukten der Kat. 3.
- * Die potenziell zu installierende Anlagenkapazität richtet sich nach Art und Eigenschaftsspezifikationen der TNP sowie nach dem an der jeweiligen Anlage bereitzustellendem Stoffstrom. Hinsichtlich der Bereitstellung erforderlicher TNP-Stoffströme an der Biomasseanlage bleibt die Nutzungskonkurrenz innerhalb der Abnehmerstruktur unberücksichtigt.
- * Als Preise für die Bereitstellung der jeweiligen Einsatzstoffe an der Stromerzeugungsanlage werden die entsprechenden, in Kapitel 4.4.1 aufgezeigten, Entsorgungskosten in Form von Erlösen zugrunde gelegt.
- * Für die geltende gegenwärtige Rahmensituation (d. h. keine Anerkennung der tierischen Nebenprodukte im Sinne der BiomasseV mit entsprechenden Ausnahmen) erfolgt die Anerkennung des erzeugten Stromes aus TNP als erneuerbarer Strom gemäß novelliertem EEG (§ 3, Abs. 1).
- * Als „Zielstromgestehungskosten“ werden die Grundvergütungssätze des novellierten EEG (d. h. ohne Berücksichtigung von NawaRo- und KWK-Boni).

- * Fördermöglichkeiten (wie z. B. Teilschuldenerlass, zinsgünstige Darlehen und Strukturförderung) durch den Bund oder das Land bleiben unberücksichtigt.

Neben den ausgewiesenen Kat. 2-Materialien (d. h. Gülle und bei der Schlachtung sauber aus dem Magen-Darm-Paket getrennte Magen-Darm-Inhalte) dürfen mit behördlicher Einzelfallgenehmigung Kat. 3-Materialien (d. h. in erster Linie Speisereste) „entsorgt“ und damit als Biomasse im Sinne der gegenwärtigen BiomasseV verwertet werden. Betreiber derartiger Anlagen können bereits heute den erzeugten Strom gemäß EEG vergüten lassen.

Die wesentlichen Einflussfaktoren für die wirtschaftliche Erzeugung von Strom aus Biogas sind – unter Vernachlässigung des Stromerlöses als nicht beeinflussbare Komponente – neben den Investitionsaufwendungen, die erzielbare Gasausbeute, die Gasqualität sowie das BHKW. Der größte Einfluss kommt dabei dem BHKW (elektrischer Wirkungsgrad) zu, gefolgt von Gasausbeute und -qualität sowie den Anschaffungskosten /46/.

Mit Rücksichtnahme auf den „**Economy-of-Scale**“-Effekt wird eine Investitionskosten-Degression mit zunehmender Anlagengröße zugrunde gelegt. Ausgehend von einer vergleichsweise aufwendigeren Prozesstechnologie für die Vergärung von Kat. 3-Material (d. h. insbesondere durch die vorgeschaltete Hygienisierung sowie Kompostierung der Gärreste) werden spezifisch höhere Investitionskosten angenommen. Für die nachfolgende Betrachtung werden für Kleinanlagen ($< 100 \text{ kW}_{\text{el}}$ installierte elektrische Leistung) spezifische Investitionskosten von 4.800 bis 6.200 €/kW_{el} zugrunde gelegt, für Anlagen der Leistungsklasse um 150 kW_{el} spezifische Investitionskosten von 2.500 bis 4.800 €/kW_{el} und für größere Anlagen ab etwa 300 kW_{el} spezifische Investitionskosten von 3.400 €/kW_{el}.

Die anfallenden jährlichen Substratkosten werden auf den Anteil des zu entsorgenden TNP (hier fettreiche Speisereste) am Gesamtsubstratinput bezogen; dies umfasst (i) die reine TNP-Vergärung (100 %) und (ii) die Kovergärung zu 30 %. Dabei wird - auf Basis gegenwärtiger Entsorgungskosten - von einem Erlös von 30 €/t_{FM} TNP ausgegangen. Darüber hinaus wird vorausgesetzt, dass neben der prozessintern genutzten anfallenden Wärme unter Maßgabe standortspezifischer Restriktionen nur 35 % der Wärmeleistung als Nutzwärme an Abnehmer abgegeben wird und damit entsprechend vergütet werden.

Die Berechnung der Stromgestehungskosten erfolgt für fiktive Modellanlagen im Leistungsspektrum von 50 bis 1.000 kW_{el} unter Zuhilfenahme der Annuitätenmethode. Die diesbezüglich zugrunde gelegten Randbedingungen, die im Einzelfall in der Praxis abweichen können, sind in Tabelle 5-6 zusammen gefasst. Des Weiteren werden darin neben den realen Stromgestehungskosten unter Rücksichtnahme auf die nominal konstanten EEG-Vergütungssätze (d. h. bei Berücksichtigung der jährlichen Preissteigerung real fallende Sätze) die nominalen Stromgestehungskosten angegeben.

Tabelle 5-6: Randbedingungen und Stromgestehungskosten für TNP-Biogasanlagen (Bezugsjahr 2005)

| Anlagengröße (installierte elektr. Leistung) ^a | kW _{el} | 50 | 150 | 350 | 1.000 |
|--|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Anlagentechnische Daten | | | | | |
| Feuerungswärmeleistung BHKW | MW _{th} | 0,167 | 0,455 | 1,029 | 2,778 |
| Zündölanteil 10% | MW _{th} | 0,017 | 0,045 | | |
| Biogasausbeute ^b | m ³ /t _{FM} | 120-127 | 120-127 | 120-127 | 120-127 |
| Elektr. Wirkungsgrad | % | 30,0 | 33,0 | 34,0 | 36,0 |
| Vollbenutzungsdauer, Strom | h/a | 7.000 | 7.000 | 7.000 | 7.000 |
| Wärmeleistung | MW _{th} | 0,09 | 0,24 | 0,53 | 1,36 |
| Ausgekoppelte Nutzwärme (35%) | MW _{th} | 0,03 | 0,08 | 0,18 | 0,48 |
| Jährl. Substratverbrauch (insges.) ^c | t/a | 1.383-1.435 | 3.773-3.914 | 9.494-9.848 | 25.619-26.574 |
| Jährl. Zündölbedarf | l/a | 11.373 | 31.018 | | |
| Arbeitsaufwand | h/d | 2 | 3 | 5 | |
| Personalbedarf (360 d/a) | h/a | 720 | 1.080 | 1.800 | |
| | Mann | | | | 2,5 |
| Kostenkenngrößen | | | | | |
| Kalkulat. Betrachtungsdauer ^d | a | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Kalkulat. Mischzinssatz (real) ^e | %/a | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,1 |
| Erlös Substrat (TNP) | €/t | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Preis Zündöl (Heizöl EL) | €/l | 0,4 | 0,4 | | |
| Wärmevergütung | €/MWh | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Spez. Personalkosten (pro Person) | €/h | 15 | 15 | 15 | |
| | T€/a | | | | 50 |
| Spez. Instandhaltungskosten ^f | %/a | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| Spez. Kosten für Versicherung, Verwaltung, Pacht ^f | %/a | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Spez. sonstige variable Kosten ^f | %/a | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Bruttoinvestition | T€ | 290 | 720 | 1.120 | 2.800 |
| Spezif. Stromgestehungskosten (real) | | | | | |
| 100% TNP | €/t/kWh | 6,4 | 3,4 | -2,6 | -2,7 |
| 30% TNP-Kosubstrat | €/t/kWh | 14,6 | 10,8 | 5,4 | 4,9 |
| Spezif. Stromgestehungskosten (nominal) | | | | | |
| 100% TNP | €/t/kWh | 7,3 | 3,8 | -2,9 | -3,1 |
| 30% TNP-Kosubstrat | €/t/kWh | 16,7 | 12,28 | 6,20 | 5,57 |

^a Einsatz von: Zündstrahlmotor für 50 und 150 kW_{el}; Gas-Otto-Motor für 350 und 1.000 kW_{el}^b „Entsorgermix“ (Biotonne etc.): 120 m³/t_{FM}; für TNP 126,5 m³/t_{FM}^c abhängig von TNP-Kosubstratanteil sowie entsprechende Biogasausbeute^d langlebige Anlagenteile (~ 50 %): 20 a; Technik (~ 50 %): 10 a; Motor: 5 a^e 30 % Eigenkapital, 70 % Fremdkapital sowie Preissteigerung von 2 %/a^f bezogen auf Bruttoinvestition

In Abbildung 5-12 sind die nominalen Gestehungskosten für die Stromerzeugung aus TNP in Abhängigkeit von der Anlagengröße dargestellt. Dabei spiegelt sich der Effekt von „Economy-of-Scale“ in einer **Kostendegression** bis zu einer Anlagengröße von etwa 350 kW_{el} wieder; darüber hinaus sind die Stromgestehungskosten annähernd konstant. Es wird deutlich, dass – unter der Maßgabe, für die Verwertung von TNP einen Erlös zu erhalten – die Anlagen im Regelfall wirtschaftlich betrieben werden können. Selbst unter der Voraussetzung, dass sich keine Substraterlöse (d. h. Kostenneutralität 0 €/t_{FM} TNP) erzielen ließen, würde sich für Anlagen von ca. 350 kW_{el} und größer ein wirtschaftlicher Betrieb einstellen. Für sehr kleine Anlagen (< 50 kW_{el}) ist in Einzelfällen der Anlagenbetrieb unter wirtschaftlichen Bedingungen nur schwer zu realisieren.

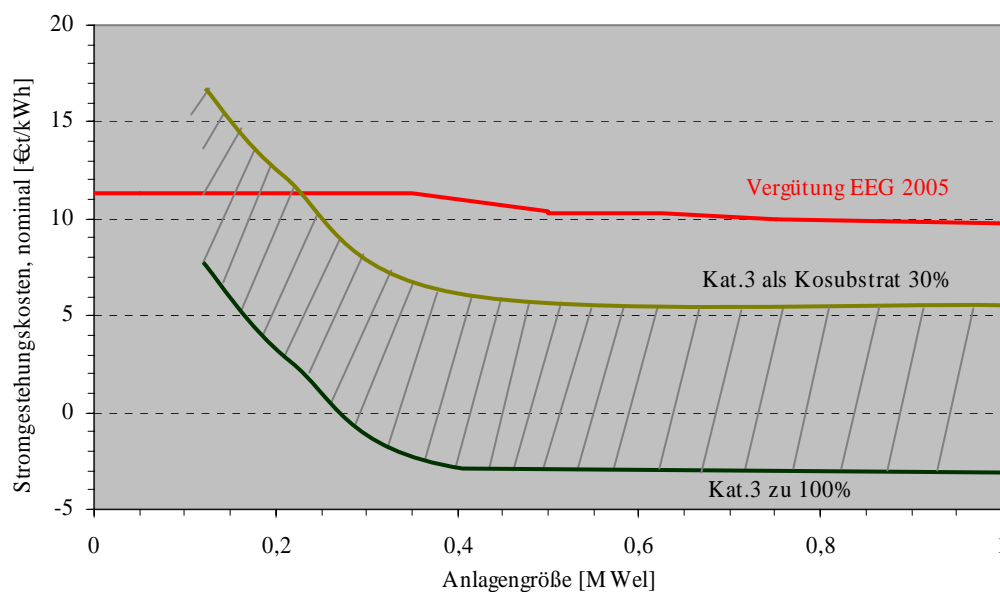


Abbildung 5-12: nominale Stromgestehungskosten für TNP in Biogasanlagen in Abhängigkeit von der Anlagengröße (Randbedingung: Erlös für TNP von 30 €/t_{FM})

Die **Sensitivitätsanalyse** zur Untersuchung des Einflusses wesentlicher Parameter ist beispielhaft für die Anlagengröße von 150 kW_{el} in Abbildung 5-13 veranschaulicht. Demnach haben insbesondere die Volllastbetriebsstunden zur Stromerzeugung sowie die Investitionskosten den erheblichen Einfluss auf die Stromgestehungskosten. Im vorliegenden Modellfall würde sich unter gegebenen Rahmenbedingungen bereits einer Reduktion der Investitionskosten von 10 % eine Senkung der Stromgestehungskosten von 1,1 €/t/kWh_{el} und damit ein wirtschaftlicher Betrieb einstellen. Sowohl der Anteil des TNP-Kosubstrates als auch der Erlös für selbiges sind hingegen von geringerem Einfluss.

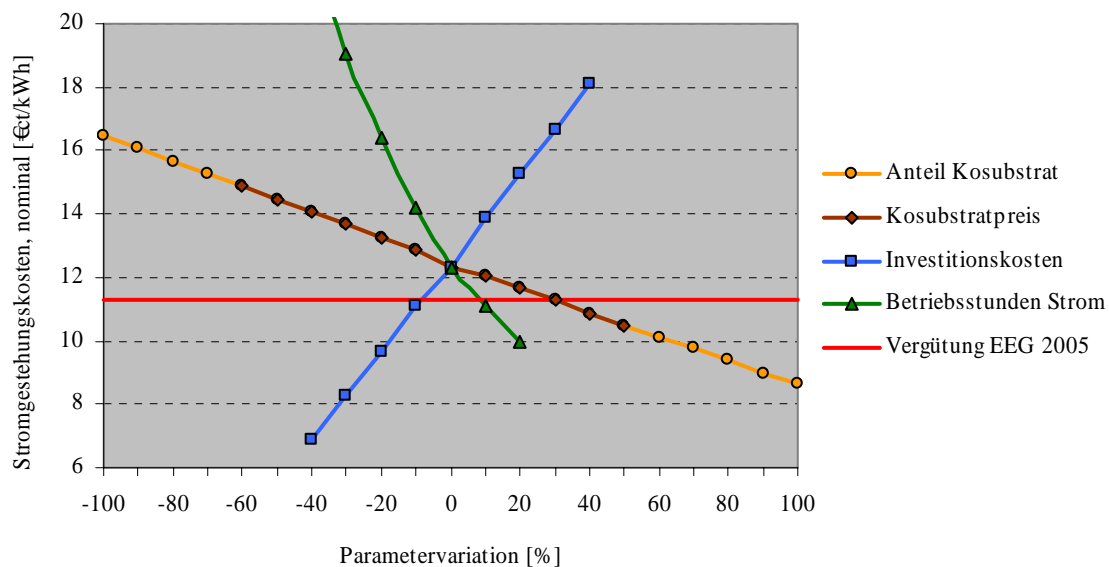


Abbildung 5-13: Sensitivitätsanalyse für 150 kW_{el}-Biogasanlage (Randbedingung: Erlös für TNP von 30 €/t_{FM} bei Kosubstratanteil von 30%)

Ohne signifikanten Effekt ist der Einfluss der kalkulatorischen Betrachtungsdauer, des angesetzten Zinssatzes sowie des Personalbedarfs.

5.5 Kumulierter Primärenergieaufwand und treibhausgasrelevante Aspekte

Neben der ökonomischen Betrachtung ist für ein abschließendes Gesamturteil zur energetischen Verwertung tierischer Nebenprodukte auch die Berücksichtigung von umweltrelevanten Aspekten erforderlich. Zur Beantwortung von ganzheitlichen Fragestellungen, die nicht nur die direkte Nutzung eines Produktes (wie z. B. den Einsatz von Kohle zur Stromgewinnung), sondern auch dessen vor- und nachgelagerte Ketten (wie z. B. die Bereitstellung des Energieträgers und den Bau der Nutzungs-Anlagen) berücksichtigen, wurde eigens das Instrument der Ökobilanzierung oder Lebenszyklusanalyse entwickelt. Mit Hilfe dieses Werkzeuges können umweltrelevante Aspekte entlang des Lebensweges eines Produktes ermittelt und beurteilt werden. In dieser Untersuchung wird die Methodik der Ökobilanzierung, angelehnt an die ISO 14040 bis ISO 14043 /48/ ff., angewendet, um die mit der energetischen Verwertung von TNP verbundenen Umweltbelastungen zu ermitteln.

5.5.1 Methodik der Ökobilanzierung

Eine Ökobilanz besteht aus vier Schritten, die nachfolgend kurz erläutert werden.

Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens. Im ersten Schritt wird festgelegt, welches Produkt oder welche Dienstleistung in welchem Umfang, mit welcher Genauigkeit und welchem Ziel betrachtet werden soll. Dabei wird die funktionelle Einheit als zentrale Bezugs- und Vergleichsgröße festgelegt. Bei Betrachtung der Stromproduktion ist dies z. B. eine kWh Strom. Die Festlegung des Untersuchungsrahmens birgt die Entscheidung, ob der gesamte

Lebensweg des Verfahrens respektive des Produktes oder nur ein Teil davon betrachtet wird. Ebenso wird festgelegt, welche Umweltbereiche betrachtet werden sollen. Das Ziel einer Ökobilanz ist im Regelfall der Vergleich mehrerer Verfahren, Dienstleistungen oder Produkte, kann aber auch die Optimierung der Umweltbelastung mit einer Schwachstellenanalyse sein.

Sachbilanz. Der zweite Schritt umfasst die Quantifizierung der Masse- und Energieströme der verschiedenen Prozesse, die zur Herstellung des Produktes nötig sind. Diese werden ebenso auf die funktionelle Einheit bezogen. Häufig wird dazu die sogenannte Prozesskettenanalyse verwendet, die auf einer Verknüpfung der einzelnen Prozesse auf Basis von physischen Größen beruht.

Wirkungsabschätzung. Als dritter Schritt der Ökobilanz beinhaltet diese die Beurteilung von Größe und Bedeutung der potenziellen Umweltwirkungen des Verfahrens oder Produktes über betrachteten Untersuchungsrahmen. Die Ergebnisse der Sachbilanz werden dazu verschiedenen Wirkungskategorien zugeordnet. Dazu zählen beispielsweise Treibhauseffekt, Abbau des stratosphärischen Ozons, photochemische Oxidantienbildung und Eutrophierung. Mit Hilfe von Charakterisierungsfaktoren werden einzelne Sachbilanzgrößen innerhalb einer Wirkungskategorie zu einem Wirkungsindikator zusammengefasst.

Auswertung. Im vierten Schritt der Ökobilanz erfolgt die Zusammenführung der Ergebnisse von Sachbilanz und Wirkungsabschätzung zusammengeführt. Nach einer gründlichen Prüfung der Resultate der Ökobilanz werden diese im Hinblick auf das zu Grunde gelegte Ziel ausgewertet.

5.5.2 Systemannahmen und Systemgrenzen

Der Lebensweg der untersuchten tierischen Nebenprodukte beginnt mit dem Anfall der tierischen Nebenprodukte als Rohmaterial frei Betrieb, in welchem es anfällt, und endet mit der stofflichen Verwertung von Gärresten respektive der Entsorgung der Asche nach der energetischen Nutzung. Als funktionelle Einheit für die energetische Verwertung von TNP wird ein 1 t Rohmaterial für die Bewertung zugrunde gelegt.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussionen zur Zukunft der Energieversorgung werden als zu untersuchende Wirkungsindikatoren der Verbrauch erschöpflicher Energieressourcen (d. h. fossiler kumulierter Primärenergieaufwand) und die treibhausgasrelevanten Emissionen (d. h. in erster Linie CO₂, CH₄ und N₂O²³) definiert. Das bei der Verbrennung von dem biogenen Energieträger TNP freiwerdende CO₂ wird bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen nicht berücksichtigt, da hier ein geschlossener Kohlenstoffkreislauf vorliegt und das freigesetzte CO₂ vorher der Atmosphäre entsprechend entzogen wurde.

²³ Für CH₄ und N₂O werden sog. CO₂-Äquivalente ausgewiesen, d. h. CH₄ mit einem Äquivalentfaktor von 21 und N₂O mit einem Äquivalentfaktor von 310 /52/.

Tierische Nebenprodukte werden auf verschiedene Weise energetisch verwertet (vgl. Kapitel 5.3.2). Für die vorliegende Untersuchung werden nachfolgende Verwertungsoptionen definiert und die entsprechend zugrunde gelegten Rahmenannahmen aufgeführt.

Einsatz von Rohmaterial in einer Biogasanlage

Rohmaterial der Kat. 3 (d. h. maßgeblich in der Fleischmehlindustrie anfallende Speisereste) wird in einer Biogasanlage mit angeschlossenem BHKW zu Biogas vergoren. Die anfallende Wärme des BHKW wird größtenteils Prozesswärmebereitstellung (u. a. zur Hygienisierung des Rohmaterials) verwendet. Der über das BHKW produzierte Strom substituiert den deutschen Strommix. Bei der Biogasanlage wird von einer Nassvergärung mit abgedecktem Gärrestlager ausgegangen. Der Methanverlust dieser Anlage wird daher mit 1 % einschließlich Nutzung angenommen. Der als Nebenprodukt des Biogasprozesses entstehende Gärrest kann als Stickstoffdünger genutzt werden. Es wird davon ausgegangen, dass 50 % des im Gärrest enthaltenen Stickstoffs langfristig pflanzenverfügbar ist und wird daher als Dünger gut geschrieben. Während der Nachrotte wird ein Teil des im Gärrest enthaltenen Stickstoffs im Laufe von Nitrifizierungs- und Denitrifizierungsprozessen zu Lachgas (N_2O) umgebaut und frei gesetzt. Dieser Anteil wird mit 2 % des im Gärrest enthaltenen Stickstoffs angenommen /52/.

Produktion von TNP in TKV

Das an die TKV angelieferte Rohmaterial (d. h. in erster Linie der Kat. 1 und Kat. 2) wird entsprechend der (EG) Nr. 1774/2002 drucksterilisiert und weiter zu Tiermehl und –fett verarbeitet. Die hierzu erforderliche Prozesswärme (Tabelle 5-7) wird entweder (i) aus der Nutzung fossiler Energieträger oder (ii) aus der direkten energetischen Nutzung des produzierten Tierfettes der Kat. 1 (vgl. Kapitel 5.3.2) gewonnen. Je nach Fall unterscheiden sich Zusammensetzung, Qualität und Menge der TNP (vgl. Tabelle 5-7). Bei den TKV-Anlagen, in denen konventionelle Energieträger genutzt werden, kommt sowohl Heizöl EL als auch Erdgas zum Einsatz, daher wird ein Energieträgermix aus 50 % Heizöl EL und 50 % Erdgas verwendet.

Tabelle 5-7: *Energieaufwendung und Produktzusammensetzung je Tonne Rohmaterial bei der Verwendung unterschiedlicher Energieträger zur Produktion von Tiermehl- und -fett*

| | Nutzung fossiler Energieträger Heizöl EL und Erdgas (konventionell) | Tierfettverbrennung (TFV) |
|---|---|---------------------------|
| Prozesswärme [$\text{MJ}_{\text{th}}/\text{t}_{\text{RM}}$] | 55 | 55 |
| Hilfsenergie [$\text{MWh}_{\text{el}}/\text{t}_{\text{RM}}$] | 0,045 | 0,045 |
| Tiermehl ($H_{\text{u}}=19 \text{ GJ/t}$) [$t_{\text{TNP}}/\text{t}_{\text{RM}}$] | 0,22 | 0,22 |
| Tierfett ($H_{\text{u}}=37 \text{ GJ/t}$) [$t_{\text{TNP}}/\text{t}_{\text{RM}}$] | 0,11 | 0,05 |
| Mittlerer Heizwert TNP [GJ/t] | 25 | 22,6 |

Einsatz von TNP in Zementwerken

Dieses Tiermehl und -fett wird in der Zementindustrie als Sekundärbrennstoff eingesetzt und trägt damit zur Substitution fossiler Energieträger bei. Im vorliegenden Fall wird zugrunde gelegt, dass ein 1 GJ der TNP Tiermehl und -fett 1 GJ Steinkohle ersetzt; die damit vermiedenen Emissionen werden entsprechend gutgeschrieben.

Einsatz von TNP in MVA

Ausgehend von der gleichen Vorkette der Rohmaterialverarbeitung in einer TKV zu Tiermehl und -fett, werden selbige in einer MVA verbrannt zum Zweck der Stromproduktion. Der elektrische Wirkungsgrad in der MVA beträgt 20 %, als produzierter Strom wird der deutsche Strommix gutgeschrieben.

Einsatz von TNP in (Heiz-)Kraftwerken

Das mit entsprechende Vorkette produziert Tiermehl und Tierfett wird als energiereicher Brennstoff in fossilen Kraftwerks-Feuerungen mitverbrannt und substituiert somit fossile Energieträger. In dieser Untersuchung wird sowohl die Substitution von Stein- als auch Braunkohle untersucht. Die Substitution erfolgt im Verhältnis 1:1.

Transport. Als Transportdistanz für das anfallende Rohmaterial zur Biogasanlage respektive zur TKV werden 100 km angenommen. Für den Transport der TNP Tiermehl und -fett von der TKV zum Einsatzort der energetischen Verwertung wird in allen o. g. Nutzungsoptionen ebenso von einer Entfernung von 100 km ausgegangen.

Infrastruktur der Anlagen. Ausgenommen die Biogasnutzung, bei der das Hauptsubstrat das Rohmaterial ist, wird Bau und Abriss der Konversionsanlagen nicht bilanziert, da es sich bei den Verwertungspfaden um Konzepte handelt, bei denen Tiermehle und -fette in einer bestehenden Feuerung mitverbrannt werden.

Die Herstellung der Basismaterialien erfolgt nach dem technischen Stand in Mitteleuropa, die verwendete Hilfsenergie wird als deutscher Strommix angenommen.

5.5.3 Ergebnisse

In Abbildung 5-14 f. sind der fossile kumulierte Primärenergieaufwand und die emittierten Treibhausgase aufgeführt, die mit einer energetischen Verwertung von tierischen Nebenprodukten verbunden sind. Dabei sind auf der positiven x-Achse die Aufwendungen aufgeführt, die durch eine Nutzung zusätzlich entstehen, auf der negativen x-Achse sind die vermiedenen Aufwendungen in Form substituierter Energieträger oder Energien als Gutschrift dargestellt. Der schmale Mittelbalken zeigt jeweils die Summe der vermiedenen Aufwendungen an.

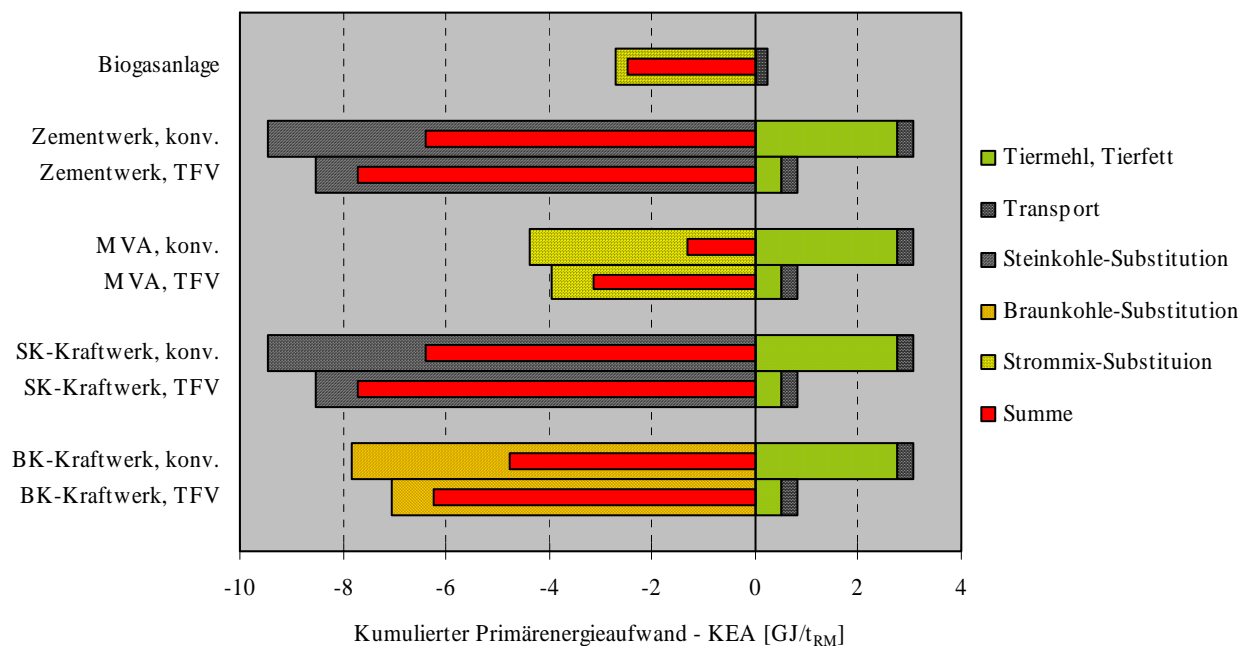


Abbildung 5-14: Verbrauch erschöpflicher Energieressourcen (KEA) je Tonne Rohmaterial

Die geringsten zusätzlichen Aufwendungen fallen innerhalb des Biogasprozesses an. Dies liegt darin begründet, dass durch die Düngergutschrift für den Gärrest die Aufwendungen des Prozesses (u. a. Hilfsenergie und Anlageninfrastruktur) ausgeglichen werden. Durch den substituierten Strom können 2,5 GJ fossile Primärenergie je eingesetzter Tonne Rohmaterial eingespart werden.

In den weiteren Nutzungsoptionen muss das Rohmaterial zunächst zu Tiermehl oder –fett weiterverarbeitet werden. Diese Aufwendungen sind als positive (zusätzliche) Aufwendungen dargestellt. Bei der Verwendung von fossilen Energieträgern sind diese Aufwendungen deutlich höher als bei der Verwendung von Tierfetten zur Produktion von Tiermehl und Tierfett.

Dem gegenüber steht jeweils die Substitution von Steinkohle (Zementproduktion, Zufeuerung in Kraftwerken), Strommix (MVA) und Braunkohle (Zufeuerung in Kraftwerken). Es zeigt sich, dass der prozessinterne Einsatz von Tierfetten zu höheren Einsparungen an

Umweltbelastungen führt, als wenn in externen Prozessen (Zementindustrie, MVA, Zufeuerung) fossile Energieträger substituiert werden. Durch den Einsatz eines Teils des Produktes (Tierfett) zur Wärmegewinnung reduziert sich zwar die Netto-Produktion, die Bereitstellung des Tiermehls und Tierfetts ist jedoch mit geringeren Umwelteffekten verbunden, was die geringere Produktion überwiegt.

Die höchsten Einsparungen werden mit 6,6 bis 7 GJ/t_{RM} Rohmaterial durch die Substitution von Steinkohle erzielt. Da sowohl bei Zementwerken als auch bei Kraftwerken 1 GJ Steinkohle durch 1 GJ TNP ersetzt wird, sind die Ergebnisse für diese zwei Nutzungsoptionen identisch. Mit 4,9 bis 6,4 GJ/t_{RM} wird etwas weniger Primärenergie durch die Substitution von Braunkohle eingespart. Dies ist auf den geringeren Energieaufwand bei der Bereitstellung der Braunkohle im Vergleich zur Steinkohle zurückzuführen.

Die geringsten Einsparungen lassen sich mit 1,5 bis 3,3 GJ/t_{RM} durch die Substitution von Strommix erzielen. Dies liegt zum größten Teil am relativ schlechten elektrischen Wirkungsgrad von MVA, aber auch daran, dass Strom teilweise bereits durch erneuerbare Energieträger bereitgestellt wird.

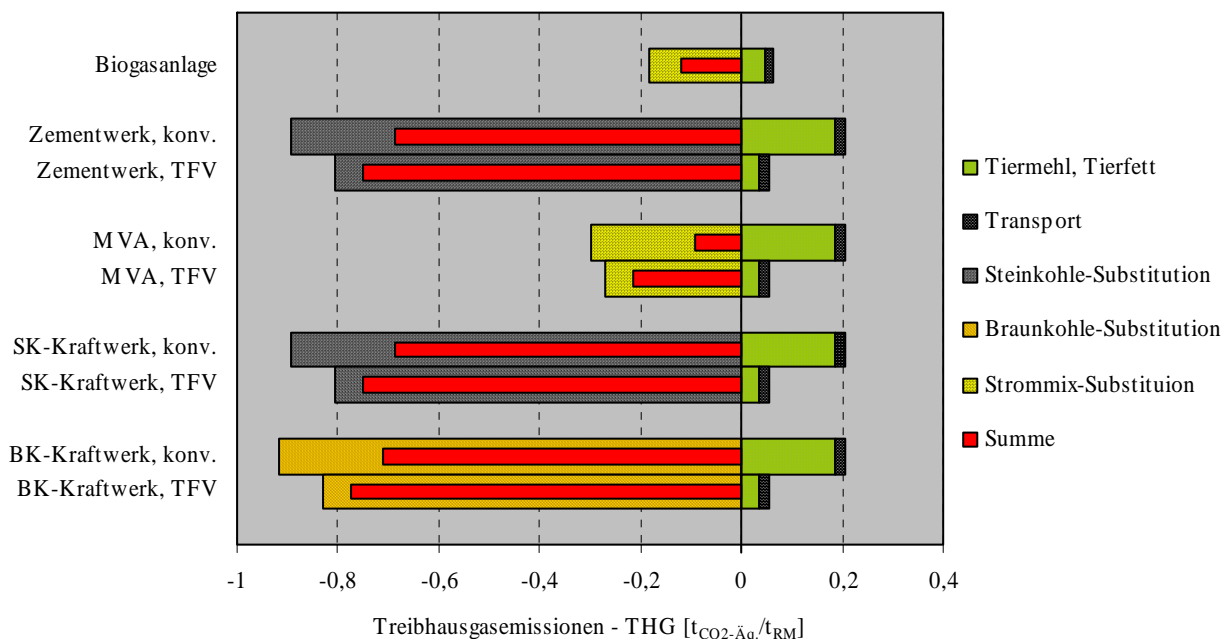


Abbildung 5-15: Treibhausgasemissionen je Tonne Rohmaterial

Die Untersuchung der freigesetzten Treibhausgasemissionen liefert ein ähnliches Ergebnis wie der fossile Primärenergieaufwand. Unterschiede treten nur beim Biogasprozess, dem Strommix und dem von Verhältnis Braunkohle zu Steinkohle auf: Die meisten Emissionen lassen sich durch die Substitution von Braunkohle einsparen, da die spezifischen Braunkohleemissionen über denen von Steinkohle liegen. Aufgrund der freigesetzten Methan- und Lachgasemission steigen die Umweltbelastungen des Biogasprozesses im Verhältnis zur energetischen Betrachtung etwas an. Die durch die Substitution des deutschen Strommixes

eingesparten Belastungen sinken etwas gegenüber dem Energieaufwand, was auf den Kernenergieanteil an der deutschen Stromproduktion zurückzuführen ist. Die Summe der eingesparten Emissionen beläuft sich je Tonne Rohmaterial auf 0,7 bis 0,8 t klimawirksamer Gase bei Braun- und Steinkohle, sowie 0,1 bis 0,52 t Klimagas bei einer Strommix-Substitution.

5.6 Abschätzung zukünftiger Entwicklungen

Ausgehend von der aufgezeigten Entwicklung der sich seit Inkrafttreten des VerfVerbG im Jahr 2000 neu etablierten Verwertungswege tierischer Nebenprodukte der Kat. 1 bis 3 werden nachfolgend mögliche Perspektiven für eine Weiterentwicklung bezüglich dieser Stoffströme für die energetische Nutzung in Deutschland aufgezeigt:

- * Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass das Aufkommen an anfallenden Rohmaterialien (etwa 2,5 Mio. t) auch in den kommenden Jahren als weitgehend stabil eingeschätzt werden kann.
- * Insbesondere Tiermehle werden auch zukünftig – weitgehend ungeachtet der Auswirkungen der TASI/AbfAbIV in großem Umfang als Sekundärbrennstoffe einen Beitrag zur Substitution fossiler Brennstoffe und damit zur Minderung des CO₂-Ausstosses leisten. Dabei ist jedoch – infolge der Spezialisierung der Verarbeitungsbetriebe auf entsprechende Produktionslinien – zu erwarten, dass der Anteil der thermisch eingesetzten Mehle zugunsten der technisch genutzten Mehle als Düngemittel abnehmen wird (vgl. Abbildung 5-6).
- * Hingegen wird für die Eigenverwertung von Fetten der Kat.1 in den Verarbeitungsbetrieben tierischer Nebenprodukte zur Heißdampfbereitstellung für die Drucksterilisation tendenziell weiter zunehmen, wenngleich ein Großteil der Betriebe bereits auf die Fettverbrennung umgestellt hat.
- * Der vermeidliche Trend, dass zunehmend tierische Nebenprodukte den Weg in Biogasanlagen gehen, kann nicht bestätigt werden. Im vergangenen Jahr sind viele der Kleinanlagen, die Kat. 3-TNP als Kosubstrat einsetzten, wieder aus der Kovergärung ausgestiegen. Nur noch wenige der bestehenden, entsprechend qualifizierteren Großanlagen, die ebenso Bioabfälle nach entsprechender Vorbehandlung einsetzen, bleiben im Geschäft. Neuanlagen werden aus Gründen rechtlicher Unsicherheiten (z. B. BioabfallV, DüngemittelV, EG-HygieneV) und fehlender Investitions-sicherheiten hingegen kaum installiert.
- * Zunehmend an Attraktivität gewinnt der Einsatz tierischer Fette zur Produktion von Biodiesel (Tierfettmethylester, TME) in sog. Multifeedstock-Anlagen. Aufbauend auf den positiven Erfahrungen Europas erster Anlage dieser Art in Malchin (mit Saria ecoMotion als Betreiber) im Hinblick auf die Produktion sowie den Einsatz dieses Biodiesels (u. a. als Blend im Gemisch mit Rapsölmethylester) in Fahrzeugflotten der Entsorgungsbetriebe wird unter gleicher Federführung in Lünen eine weitere Anlage gebaut. Diese wird eine Jahresgesamtkapazität von 100 kt/a haben soll ab Herbst 2006

in Betrieb gehen /20/. Verglichen mit dem Biodiesel auf Rapsölbasis²⁴ ist TME nur als Nischenprodukt auf dem Kraftstoffmarkt anzusehen.

5.7 Zusammenfassung

Für die Nutzungs- und Verwertungspfade ist deutlich geworden, dass sich nach Inkrafttreten des VerfVerbG im Jahr 2000 für die Produkte der Tierkörperverwertung geeignete Absatzwege durchgesetzt haben und sich eine weitgehend stabile Nachfrage- und Abnehmerstruktur etabliert hat. In dieser spielen die stoffliche Nutzung von TNP (etwa 50 %; in der Heimtiernahrungsindustrie, als Düngemittel, in der Oleochemie sowie als Gärrestdünger aus Biogasanlagen) und die energetische Verwertung (etwa 50 %; u. a. in Zementwerken, Kraftwerken, MVA sowie zur internen TKV-Energiebereitstellung) eine ebenbürtige Rolle. In diesem Gefüge sind insbesondere Im- und Exporte von Tiermehl und Tierfett zum einen über die Grenzen der Bundesländer hinweg als auch innerhalb Europas ein fester Bestandteil. Das abgeschätzte Energieträgerpotenzial tierischer Nebenprodukte für Deutschland entspricht hingegen nur einem Anteil von 1 bis 2 % des Biomassepotenzials insgesamt.

Die Abschätzung wirtschaftlicher und klimarelevanter Aspekte hat deutlich gemacht, dass sich unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen zum einen ein wirtschaftlicher Betrieb von Bioenergieanlagen erzielen lässt. Zum anderen ist im Hinblick auf den Gesichtspunkt Klimarelevanz bestätigt worden, dass insbesondere durch die Etablierung von TNP als Energieträgersubstitut fossiler Brennstoffe (d. h. Kohle) in der Zufeuerung bereits derzeit einen deutlichen Beitrag zur Senkung der treibhausgasrelevanten Emissionen leistet.

Die Tierkörperverwerter sehen eine hohe Wertschöpfung in der energetischen Verwertung der TNP der Kat. 1 und 2 und halten die Nutzung der „genusstauglichen“ Kat. 3-TNP als Energieträger für nicht zielführend, da hier ebenso stoffliche Vermarktungswege gegeben sind. Hingegen bangt die Oleochemie um die Verfügbarkeit des Rohstoffes Tierfett (insbes. Kat. 3), wenn dieser zunehmend für energetische Zwecke attraktiv wird und sähe sich dann gezwungen, zukünftig zunehmend Pflanzenöle (wie z. B. Palmöl) aus Asien importieren zu müssen, was zu einer Verlagerung der Klimaschutz- und Versorgungsproblematik führen würde.

Insgesamt zeigt sich Situation der Verarbeitung und Nutzung tierischer Nebenprodukte als wenig transparent. Durch die Anpassung der BiomasseV an die seit 2005 geltenden rechtlichen Grundlagen des TierNebG wurden die bis August 2005 bestehenden Rechtsunsicherheiten hinsichtlich der Anerkennung tierischer Nebenprodukte als Biomasse mit entsprechenden Einschränkungen auf tierische Nebenprodukte der Kat. 3 beschränkt. Demnach sind auch nur Biokraftstoffe, die auf der Basis von Kat. 3-Fetten hergestellt worden

²⁴ Biodieselskapazität in Deutschland 2005: ca. 2.700 kt/a

gegenwärtig von Mineralölsteuer befreit, wenngleich es hier Bestrebungen gibt, Sonderregelungen zu erwirken.

Zukünftiger Handlungsbedarf im Hinblick auf die energetische Verwertung ergibt sich – auch vor dem Hintergrund der Skandale im Herbst 2005 im Umgang mit tierischen Nebenprodukten – u. a. in Bezug auf (i) ausreichende Vorschriften für einheitliche Begleitpapiere für den europaweiten Handel sowie die möglichen Verwertungspfade mit frei handelbarer Kat. 3-Ware und (ii) die Sicherstellung einer geeigneten Vorbehandlung von tierischen Nebenprodukten der Kat. 3 beim Einsatz in Biogasanlagen sowie (iii) hinsichtlich belastbarer Regelungen im Umgang mit den bei der Vergärung anfallenden Gärresten.

6 Einsatz von Bioabfällen zur Stromerzeugung

Um die Entwicklung der Stromerzeugung aus Bioabfällen zu dokumentieren und für die Zukunft abzuschätzen, werden – eine Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen vorangestellt – deshalb die nachfolgenden Sachverhalte untersucht:

- * die aktuell vorhandenen Stoffströme, Potenziale und Verwertungskapazitäten sowie die Verwertungswege für Bioabfälle werden z. B. auf der Grundlage von Abfallstatistiken dargestellt; u. a. werden dabei die real zur Energiegewinnung eingesetzten Bioabfallmengen dokumentiert,
- * die abfallwirtschaftlichen und abfallrechtlichen Grundlagen werden im Hinblick auf ihre aktuellen und potenziell zukünftigen Einflüsse hin untersucht; in diesem Zusammenhang werden auch die für den Bioabfall relevanten Regelungen des EEG thematisiert,
- * neue, innovative technische Ansätze werden benannt und – soweit möglich – in ihrer Relevanz eingeschätzt,
- * die Kosten-/Preissituation der Stromerzeugung aus Bioabfällen wird insbesondere im Vergleich zu konkurrierenden Verwertungs-, bzw. Entsorgungsoptionen beleuchtet,
- * auf der Grundlage ermittelter Daten (Befragungsaktion) werden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im Sinne der Ermittlung von Stromgestehungskosten durchgeführt; von besonderem Interesse ist dabei die Konkurrenzfähigkeit der Biogaserzeugung im Vergleich zur Kompostierung,
- * im Hinblick auf die bei der Bioabfallverwertung entstehenden Produkte (Gärrückstand, Kompost) wird eine Einschätzung der Marktsituation vorgenommen; mögliche Effekte und Marktverschiebungen, die ihren Ursprung in energetischen Verwertungsoptionen haben werden dabei thematisiert.

6.1 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

Bioabfälle werden z. B. im Rahmen von Länderabfallbilanzen in der Regel als Material aus der Biotonne sowie als Grünschnitt im Sinne von Garten- und Parkabfällen, welche meist auf kommunaler Ebene verwertet werden, verstanden. Der Stoffstrom Bioabfall – als Produkt einer getrennten Erfassung von Haushaltsabfällen über das System Biotonne – entwickelte sich dabei seit dem Startschuss im Jahr 1982 von einem Nischendasein sukzessive hin zu einem wichtigen Bestandteil regionaler Abfallentsorgungsstrategien. Gründe dafür waren z. B. rechtliche Verwertungsprioritäten, die Notwendigkeit zur Reduktion der zu beseitigenden Restmüllmengen, die Verbesserung der Deponiefähigkeit der Restabfälle sowie ökonomische Zwänge im Sinne einer Reduktion der insgesamt anzusetzenden Abfallbehandlungskosten. Der Ressourcengedanke z. B. im Hinblick auf die Produktion eines Bodenverbesserungsmittels oder hinsichtlich der Energieerzeugung spielte dabei nach allgemeiner Einschätzung eher eine sekundäre Rolle.

Diese bisherige Entwicklung scheint sich jedoch derzeit z. B. nach Einschätzung der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) abzuschwächen bzw. sogar umzukehren. Trotz der bundesweit zu konstatierenden, grundlegenden Einschätzung, dass „an der Biotonne auch in Zukunft festgehalten werden sollte“ /95/ und der vorliegenden Erkenntnisse im Bereich ökobilanzieller Betrachtungen²⁵ /98/, tragen bzw. trugen sich einige öffentliche Entscheidungsträger mit dem Gedanken (bzw. haben diesen schon vollzogen), die Bioabfallsammlung gar nicht erst einzuführen oder ein bereits installiertes System wieder abzuschaffen²⁶. Als Gründe für diese Entwicklungen werden u. a. folgende Punkte heran gezogen:

- * Ökonomische Zwänge; regionalspezifisch teilweise Annäherung der Kosten zwischen Bio- und Restabfallbehandlung,
- * Verfügbarkeit neuer Verfahren zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung, welche eine Getrennthaltung – aufgrund einer thermischen Verwertungsoption – nach Einschätzung einiger Akteure nicht mehr erfordern (z. B. /159/),
- * Unsicherheit hinsichtlich der Verwertbarkeit der erzeugten Produkte (hier: Kompost, Gärrückstand) z. B. unter Berücksichtigung potenzieller zukünftiger Grenzwerte bei den Schadstoffbelastungen,
- * Probleme im Bereich der Hygiene und der Geruchsemissionen bei den Behandlungsanlagen,
- * Akzeptanz und Aufwand in den Haushalten im Zusammenhang mit der getrennten Erfassung.

Die Einbindung der Bioabfallverwertung in EEG-gestützte Biomasse-Nutzungsstrategien zur Stromerzeugung bietet hier gegebenenfalls die Chance, den Ressourcengedanken im Zusammenhang mit der Bioabfallverwertung wieder zu stärken, Wirtschaftlichkeiten zu optimieren und somit die Wertschöpfung insgesamt zu erhöhen.

²⁵ „Nur über eine getrennte Erfassung ergeben sich Entsorgungsoptionen, die sich ökologisch deutlich günstiger erweisen als die Option des Verbleibs in der Restmülltonne und der anschließenden thermischen Behandlung“ /96/

²⁶ z. B. Abschaffung bzw. Diskussion der Abschaffung der Biotonne in Berlin, Essen, Aachen, Köln, Aschaffenburg, Meißen, Bentheim, etc.

6.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen

6.2.1 Definitionen

Bioabfall ist mit Verweis auf § 2 Nr. 1 der BioabfV in § 2 Abs. 2 Nr. 4 der BiomasseV als anerkannte Biomasse gelistet. Danach sind grundsätzlich gemäß Anhang 1 Nr. 1 BioabfV u. a. die in der Tabelle 6-1 genannten Stoffströme zu berücksichtigen.

Tabelle 6-1: Bioabfälle nach Anhang 1 Nr. 1 BioabfV (Auszug)

| Abfallschlüssel* | Abfallbezeichnung/-art (Beispiele) | Anmerkungen (Auszug) |
|--|--|--|
| 02 01 03 | Abfälle aus pflanzlichem Gewerbe - Spelze, Spelzen- und Getreidestaub - Futtermittelabfälle | |
| 02 01 06 | Tierische Ausscheidungen, Gülle / Jauche und Stallmist (einschl. verdorbenes Stroh), Abwässer getrennt gesammelt und extern behandelt - Geflügelkot - Schweine- und Rindgülle - Mist - Altstroh | Bioabfall nur dann, wenn es sich nicht um Wirtschaftsdünger gemäß Düngemittelrecht handelt; infektiöser Mist ist generell von der Verwertung ausgeschlossen |
| 02 01 07 | Abfälle aus der Forstwirtschaft - Rinden - Holz, Holzreste | Naturbelassene Rinden und unvermischte Weiterverarbeitungsprodukte aus Rinden sind von den einschlägigen Behandlungs- und Untersuchungspflichten ausgenommen. |
| 02 03 04 02 05 01 02 05 99 02 06 01 | Für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe - Überlagerte Nahrungs-/Genussmittel - Zigarettenfehlchargen - Produktionsrückstände von Kaffee, Tee und Kakao - Ölsaatenrückstände - Molke - Teigabfälle | (Nahrungsmittelverarbeitung, Milchverarbeitung, Back- und Süßwarenherstellung) Verwertung nur, soweit Bestimmungen des Tierkörperbeseitigungs** - oder Tierseuchengesetzes dem nicht entgegenstehen. |

Tabelle 6-1: Fortsetzung

| Abfallschlüssel* | Abfallbezeichnung/-art (Beispiele) | Anmerkungen (Auszug) |
|--------------------------|---|---|
| 02 07 99 | Abfälle aus der Herstellung von alkoholischen und nichtalkoholischen Getränken - Malztreber, -keime, -staub - Trub / Schlamm aus Brauereien - Trester und Weintrub | |
| 03 01 01 03 03 01 | Abfälle aus der Holzbe- und -verarbeitung - Rinden - Sägemehl und Sägespäne - Holzwohle | Getrennt erfasste Rinden, außer Rinden von Bäumen und Sträuchern von Straßenrändern, sind von den einschlägigen Behandlungs- und Untersuchungspflichten ausgenommen |
| 20 01 08 | Papier und Pappe Altpapier | Nur Zugabe in kleinen Mengen (ca. 10 %) zu getrennt erfassten Bioabfällen zulässig. Zugabe von Hochglanzpapieren und von Papier aus Altpapeten ist nicht zulässig. |
| 20 01 08 20 01 25 | Biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle - Küchen- und Kantinenabfälle - Speiseöle- und -fette | Verwertung nur, soweit Bestimmungen des Tierkörperbeseitigungsgesetzes** dem nicht entgegenstehen. Aufbringung auf Dauergrünland nur, wenn sie zuvor einer Pasteurisierung (70°C; 1h) unterzogen wurden. Speiseöle und -fette nur in Anlagen zur anaeroben Behandlung. |
| 20 02 01 | Biologische abbaubare Abfälle - Garten- und Parkabfälle - Landschaftspflegeabfälle - Gehölzrodungsrückstände - Pflanzliche Bestandteile des Treibfels | Getrennt erfasste Materialien, außer Grün- und Strauchschnitt von Straßenrändern oder von Industriestandorten, sind von den einschlägigen Behandlungs- und Untersuchungspflichten ausgenommen. Bei Materialien von Straßenrändern und Industriestandorten sowie bei pflanzlichen Bestandteilen des Treibfels ist die Einhaltung der Schwermetallwerte zu überprüfen. |
| 20 03 01 | Gemischte Siedlungsabfälle Hausmüll (getrennt erfasste Bioabfälle) | Insbesondere getrennt erfasste Bioabfälle privater Haushalte und des Kleingewerbes |
| 20 03 02 | Marktabfälle | Nur getrennt erfasste, biologisch abbaubare Fraktion. Verwertung nur, soweit Bestimmungen des Tierkörperbeseitigungsgesetzes** oder Tierseuchengesetzes dem nicht entgegenstehen. |

* gemäß AVV; ** ersetzt durch TierNebG

Für den Anhang 1 der BioabfV existiert derzeit ein fachlicher Vorschlag zur Überarbeitung in welchem insbesondere auf die neuen hygienerechtlichen Bestimmungen (Verordnung EG Nr. 1774/2002) Bezug genommen wird /97/. Danach sind z. B. Geflügelkot sowie Schweine- und

Rindergülle nicht mehr enthalten. Bemerkenswert ist, dass die Abfallstoffe Braunkohlestaub und Aktivkohle neu in die Liste aufgenommen wurden.

Da die Erfassung aller im Anhang zur BioabfV genannten Kategorien angesichts der oben aufgezeigten Vielseitigkeit sowie der vorhandenen Datenlage schwierig ist, und zudem einige Stoffströme für den Vergärungspfad nicht relevant sind (z. B. holzartige Materialien, Materialien mit geringem Mengenaufkommen), wurde vereinbart sich in der Untersuchung auf Abfälle zu beschränken, die in kommunaler Zuständigkeit entsorgt werden müssen (AVV: 20 01 08, 20 02 01, 20 03 01 f.). Insbesondere beim getrennt erfassten Grünschnitt (20 02 01) sowie beim getrennt erfassten Bioabfall (20 03 01) sind dabei Verschiebungen hinsichtlich Anfall und möglicher Nutzungskonkurrenz durch Änderungen der Rahmenbedingungen (z. B. TASI/AbfAbfV im Jahr 2005) zu erwarten. Es ist nicht damit zu rechnen, dass dies auch für Industrieabfälle z. B. aus Brauereien und Molkereien zutrifft. Der Begriff ‚Bioabfall‘ deckt somit im Folgenden die Mengenströme aus der Biotonne sowie den Grünschnitt bzw. die Garten- und Parkabfälle in kommunalen Anlagen ab.

Insgesamt sind hinsichtlich der Definition des Bioabfallbegriffes im Rahmen der Biomasseverunsärfen zu konstatieren. Unklar sind z. B. die Voraussetzungen für Stoffmischungen und hier insbesondere die Regelungen zu zulässigen Fremd-/ Störstoffanteilen in Biomassen²⁷.

6.2.2 Vergütung der Stromerzeugung aus Bioabfällen

Bioabfälle werden unter Berücksichtigung der oben aufgezeigten, vielschichtigen Stoffströme hinsichtlich der Zuordnung einer Einspeisevergütung gemäß EEG unterschiedlich gehandhabt. Während z. B. über die Biotonne getrennt erfasste Bioabfälle aus Haushalten (Garten- und Küchenabfälle) lediglich eine Grundvergütung nach § 8 Abs. 1 erhalten, wird bei Grünschnitt (z. B. aus Privatgärten, Garten- und Parkanlagen, etc.) mit einem Bonus gemäß § 8 Abs. 2 Nr. 1a gerechnet²⁸. Diese zusätzliche Bonifizierung, die sich letztendlich aus der Argumentation „Landschaftspflegematerial“ ergibt, sollte unter Berücksichtigung der Zielsetzungen des EEG sowie folgender Diskussionspunkte kritisch hinterfragt werden:

- * Die Entsorgung von Grüngut/Grünschnitt ist im Rahmen abfallwirtschaftlicher Festlegungen in der Regel in der Zuständigkeit der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger. Vor dem Hintergrund der Verwertungspriorität nach KrW-/AbfG wurden diesbezüglich in der Vergangenheit Verwertungsstrukturen im Sinne von Kompostierungsanlagen aufgebaut, deren Finanzierung über Annahmepreise oder Gebühren erfolgt.

²⁷ Wie soll z. B. der Siebrest aus Kompostanlagen – welcher z.T. höhere Fremdstoffanteile (z. B. in Form von Kunststoff) beinhalten kann - aussehen, wenn er als Biomasse im Sinne des EEG deklariert werden soll, welche Standards muss er erfüllen?

²⁸ So weist z. B. die Positivliste des Fachverbandes Biogas e. V. unter der Rubrik ‚Pflanzen oder Pflanzebestandteile, die im Rahmen der Landschaftspflege anfallen‘ als Beispiele für Stoffe die den NawaRo-Bonus erhalten sollen Grünschnitt aus der Landschaftspflege, kommunaler Grasschnitt, Grünschnitt von Golf- und Sportplätzen sowie Privatgärten aus.

- * Als Grünschnitt wird oftmals auch der Siebüberlauf aus Kompostwerken verstanden. Es handelt sich hierbei um Grobstoffe, die in der Kompostierung nicht weiter verarbeitet werden können und als Rückstand entsorgt werden müssen. Die Wirksamkeit des Aspektes der „Aufbereitung“ oder „Veränderung“ gemäß § 8 Abs. 2 Nr. 1a EEG ist in diesem Zusammenhang zu prüfen.

Der im Überbegriff Bioabfall enthaltene Teilstrom Grünschnitt/Landschaftspflegematerial ist letztendlich hinsichtlich seiner Herkunftsbereiche relativ weit gefasst. Es ist daher zu diskutieren, ob eine weitere Differenzierung bzw. Konkretisierung unter Berücksichtigung der verschiedenen Quellen (z. B. Pflegematerial von Extensivflächen, Abfälle aus Privatgärten und öffentlichen Anlagen) sowie bereits vorhandener abfallwirtschaftlicher Aufgaben erfolgen sollte.

6.2.3 Exkurs: Diskussionen zur Vergütung von Strom aus Bioabfällen als Bestandteil von Siedlungsmischabfällen

Die Interessenvertretung der Betreiber thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland ITAD /98/ versucht bereits seit mehreren Jahren über das EEG, anteilig verbesserte Einspeisebedingungen für Strom aus Müllverbrennungsanlagen zu bekommen. Das novellierte EEG definiert diesbezüglich zwar in einem „erweiterten Biomasse-Begriff“ im Rahmen einer Umsetzung der Richtlinie 2001/77/EG über den § 3 Abs. 1 auch den biologisch abbaubaren Anteil von Abfällen aus Haushalten und Industrie als erneuerbare Energie, schließt jedoch eine entsprechende Vergütung aus²⁹. Auch die BiomasseV beinhaltet diesbezüglich eindeutige Regelungen, indem in § 3 Satz 1 Nr. 3 „gemischte Siedlungsabfälle aus privaten Haushaltungen sowie ähnliche Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen“ nicht als Biomasse im Sinne der Verordnung anerkannt werden. Die Begründung zur Biomasse vom 21.06.2001 schließt explizit „eine Einbeziehung der so genannten Hausmüllverbrennung aus“. Im Zusammenhang mit der Vorgabe, dass das EEG der Zielrichtung des KrW-/AbfG nicht zuwiderlaufen soll³⁰, sind dabei folgende Sachverhalte zu berücksichtigen:

- * Im Falle einer zusätzlichen Vergütung des Stroms aus biogenen Anteilen von gemischten Siedlungsabfällen ist zu befürchten, dass derzeit separat erfasste Bioabfälle in einem verstärkten Maße der Mischmüllbehandlung zugeführt werden, um eben diesen biogenen Anteil zu erhöhen.

²⁹ Konsolidierte Fassung der Begründung zu dem Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien vom 21. Juli 2004 (S. 17): „..... Es gilt zu beachten, dass durch diese Erweiterung nur der anteilig daraus erzeugte Strom in den Anwendungsbereich des Gesetzes fällt. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass für die Vergütung von Strom nach § 5 weiterhin das Ausschließlichkeitsprinzip gilt und Strom aus gemischten Abfällen aus Industrie und Haushalten auch in Zukunft nicht vergütet wird.“

³⁰ Z. B. Definition der Verwertung nach § Abs. 3 und 4 KrW-/AbfG, Vorrang der umweltverträglicheren Verwertungsart nach § 6 Abs. 1 KrW-/AbfG; auch in der EG-Richtlinie 2001/77/EG wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Verbrennung von nicht getrenntem Siedlungsmüll im Rahmen einer Förderregelung für erneuerbare Energiequellen nicht gefördert werden sollte, wenn dadurch die Abfallbehandlungshierarchie untergraben würde.

- * Durch eine Mischmüllverbrennung wird die Option einer stofflichen Verwertung im Sinne einer Herstellung von Bodenverbesserungsmitteln aufgegeben, wohingegen die getrennte stoffliche Verwertungsschiene im Falle einer Biogaserzeugung noch um eine energetische Komponente erweitert werden kann.
- * Die getrennte Erfassung und Behandlung von Bioabfällen wurde unter definierten Rahmenbedingungen in verschiedenen ökobilanziellen Betrachtungen als die umweltverträglichere Vorgehensweise erachtet /99/.

Ähnlich wie die ITAD formieren sich derzeit auch die Betreiber von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen³¹ im Hinblick auf die Anwendung des EEG bei der Verstromung von Biogas aus der Vergärung von MBA-Abfällen. In einem Rechtsgutachten /100/ wird festgestellt, dass bei einer entsprechenden Aufbereitung der Mischabfälle das gewonnene Biogas als Biomasse im Sinne der BiomasseV und damit auch im Sinne des § 8 EEG anzuerkennen ist. Als eine Voraussetzung wird diesbezüglich festgelegt, dass die (mechanisch) aufbereitete biologische Fraktion in ihrer Zusammensetzung derjenigen getrennt erfasster Bioabfälle entsprechen muss. Kriterium sind dabei die Fremdstoffgehalte im Sinne z.B. von Glas-, Kunststoff-, Metallanteilen. Schadstoffgehalte, welche gegebenenfalls die Verwertbarkeit der anfallenden Rückstände (Gärrückstand) im Sinne der BioabfV beschränken, werden nicht thematisiert. Gemäß den bisherigen Erfahrungen ist jedoch davon auszugehen, dass biogene Abfallfraktionen aus Mischmüllaufbereitungsanlagen in der Regel höhere Schadstoffkonzentrationen aufweisen als getrennt erfasste Bioabfälle. Unter Berücksichtigung der Zielsetzungen des KrW-/AbfG müsste dieser Punkt im Rahmen der Diskussion hinsichtlich der Anwendbarkeit des EEG ergänzend aufgegriffen werden. Wenn über die Aufbereitung einer biogenen Abfallfraktion in einer MBA nur ein im Sinne der AbfAbfV stabilisierter Stoffstrom zur anschließenden Deponierung erzeugt wird, gelten vergleichbare Zusammenhänge, wie sie oben bereits für die Behandlung in thermischen Abfallbehandlungsanlagen dargestellt wurden³².

6.2.4 Abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen im Kontext der Bioabfallverwertung

Ausgehend von der eingangs erwähnten (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) starken Dynamik sowie der Zielsetzungen (z. B. bezüglich der Umweltverträglichkeit) im Bereich der Abfallwirtschaft ergibt sich im speziell für die Verwertung von Bioabfällen nachfolgend erläuterte Situation.

Bzüglich der Minderungspotenziale bis 2020 wird die Bioabfallverwertung bei einer angesetzten Konstanz der Erfassungsmengen einen Anteil von 0,1 bis 0,3 Mio. Mg CO₂-Äquivalente zugeordnet. Zur Erreichung dieser Potenziale wird eine forcierte Umstellung von aeroben auf anaerobe Behandlungstechniken unterstellt.

³¹ ASA Arbeitsgemeinschaft stoffspezifische Abfallbehandlung e. V.

³² Die gesetzlich – durch die AbfAbfV – induzierte Biogaserzeugung über eine MBA, entspricht dabei in ihrem Charakter eher einer technisch vorgelagerten Deponiegaserzeugung.

Hinsichtlich der stoffstromrelevanten Rahmenbedingungen, die sich im Kontext der obigen Zielsetzungen sowie der Möglichkeiten einer Stromerzeugung aus Bioabfällen auf der Grundlage abfallrechtlicher Bestimmungen thematisieren lassen, sind insbesondere folgende Punkte darzustellen:

- * Priorität der Abfallvermeidung gemäß § 4 Abs. 1 Nr. 1 KrW-/AbfG; mögliche Auswirkungen: Eigenkompostierung im Hinblick Bio- und Grünabfälle/ Feinmüllanteile
- * Verwertungspriorität gemäß § 4 Abs. 1 Nr. 2 KrW-/AbfG in Verbindung mit den Anforderungen zur getrennt Haltung gemäß § 5 Abs. 2 KrW-/AbfG sowie den generellen Rahmenbedingungen der Verwertungspriorität gemäß § 5 Abs. 4 f. KrW-/AbfG³³; mögliche Auswirkungen: (i) Forcierung der Getrenntsammlung im Hinblick auf Bio- und Grünabfälle, (ii) Stoffstromtrennung über mechanische Aufbereitungsanlagen
- * Ergänzt werden die Rahmenbedingungen des KrW-/AbfG durch die Vorgaben der TASI /104/ und hier insbesondere durch die Zuordnungskriterien für die Verwertung gemäß Abschnitt 4.1 sowie die allgemeinen Anforderungen an die stoffliche Verwertung und Schadstoffentfrachtung gemäß Abschnitt 5. Für die organischen Abfälle waren zudem die Übergangsvorschriften für Abfälle, die Deponien zugeordnet werden, relevant. Hier mussten spätestens seit dem 01. Juni 1999 durch ‚zusätzliche Maßnahmen‘ die Gehalte an nativ-organischen Bestandteilen in den Abfällen reduziert werden, was u. a. zu einem verstärkten Ausbau der getrennten Erfassung beigetragen hat.
- * Auf europäischer Ebene sind die Arbeiten an der ursprünglich vorgesehenen und von den Interessenvertretern der biologischen Abfallwirtschaft geforderten EG-Bioabfallrichtlinie /105/ ins Stocken geraten. Vielmehr sollen die für die Bioabfallverwertung relevanten Inhalte in eine geänderte Abfallrahmenrichtlinie einfließen. Ein entsprechender Vorschlag wird für Herbst 2005 angekündigt /106/.

Bezüglich einzelner Fraktionen des ‚organischen Hausmülls‘ sind die Vorgaben der BioabfV zu berücksichtigen. Hierin sind gemäß § 3 definierte Bioabfälle vor einer Aufbringung auf Böden einer Behandlung zuzuführen, welche die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit gewährleistet. Darüber hinaus darf der Bioabfallbehandler nur solche Materialien verwenden, von denen angenommen werden kann, dass sie nach einer Behandlung die Anforderungen gemäß § 4 Abs. 3 BioAbfV hinsichtlich der Schadstoffgehalte einhalten.

³³ hier: technische Machbarkeit, wirtschaftliche Zumutbarkeit und Umweltverträglichkeit (im Vergleich zur Beseitigung); der Vorrang der Verwertung entfällt z. B., wenn die Beseitigung die umweltverträglichere Lösung darstellt; dies ist nach Vogt et al. (2002) nicht der Fall

Ein weiteres Element der abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen bezieht sich im Kontext der Betrachtung der Bioabfälle auf die Anforderungen an die Verwertbarkeit der erzeugten Produkte. Im Bereich der organischen Abfälle aus Haushalten ist dieses Kriterium insbesondere relevant für die im Rahmen von Verwertungsprozessen entstehenden Rückstände und Produkte (hier: Gärrückstand bzw. Kompost), da hieraus eine Einschätzung der Sinnhaftigkeit der getrennten Erfassung von organischen Abfällen vor dem Hintergrund der in § 5 Abs. 4 Satz 1 KrW-/AbfG verankerten Verpflichtungen³⁴ abgeleitet werden kann. Von Bedeutung ist hierbei insbesondere die zukünftige Entwicklung der Grenzwerte für Schadstoffbelastungen in Komposten bzw. Gärrückständen aus organischen Abfällen aus Haushalten. Diese Grenzwerte werden derzeit über die BioabfV abgebildet. Auf der Grundlage eines gemeinsamen Grenzwertkonzeptes /110/ des BMU und des BMELV aus dem Jahr 2002, in dessen Rahmen eine Harmonisierung der Anforderungen an die Verwertung von Bioabfällen, landwirtschaftlichen Wirtschaftsdüngern und Klärschlämmen erfolgen sollte und welches von einer strikten Gleichbehandlung aller organischen Düngemittel ausgeht, sollen diese Grenzwerte nochmals neu definiert werden. Die in diesem Papier vorgeschlagenen Grenzwerte liegen dabei teilweise erheblich unter den derzeit gültigen Grenzwerten für Bioabfälle und sollen dafür sorgen, dass es auch bei einer langfristigen Aufbringung von organischen Düngemitteln zu keiner Anreicherung von Schadstoffen in Böden über die Grenzwerte der BBodSchV /111/ hinaus kommen soll /112/. Dieser Ansatz war Anlass für eine kontrovers geführte Diskussion bei der die Aspekte des Bodenschutzes und die der Abfallwirtschaft aufeinander prallten. Der abfallwirtschaftliche Standpunkt ging dabei davon aus, dass es bei einer Umsetzung der Grenzwert – Vorschläge zu massiven Einschränkungen der landwirtschaftlichen Verwertung biogener Abfallstoffe kommen wird³⁵ und damit die getrennte Sammlung von Bioabfällen zur Disposition steht, zumal eine weitergehende Verbesserung der Schadstoffgehalte in den getrennt erfassten Bioabfällen durch technisch/organisatorische Maßnahmen nicht möglich erscheint³⁶ /113/. Derzeit wird das Grenzwertkonzept nicht weiter verfolgt /114/, vielmehr wurde beim Umweltbundesamt eine Kommission Bodenschutz eingesetzt, die weitere Impulse für die Umweltpolitik liefern soll.

6.2.5 Genehmigungsrechtliche und technische Aspekte der Bioabfallverwertung

Aus technischer Sicht sind im Zusammenhang mit der Bioabfallverwertung insbesondere die Hygieneanforderungen nach BioabfV (Anhang 2) sowie die Regelungen der neuen TA Luft zu berücksichtigen.

Hinsichtlich der Hygieneanforderungen sind die derzeit gültigen Rahmenbedingungen der BioabfV speziell auf den Betrieb einer Kompostierungsanlage ausgelegt und damit für den

³⁴ „Die Pflicht zur Verwertung ist einzuhalten, soweit ..., insbesondere für einen gewonnenen Stoff oder gewonnene Energie ein Markt vorhanden ist oder geschaffen werden kann.“

³⁵ Resolution der Verbandsvertreter beim 63. Informationsgespräch des ANS e.V., www.ans-ev.de

³⁶ Zitat aus /113/: „Eine weitere Verschärfung der (derzeitigen) Grenzwerte (der BioabfV) würde die Verwertung von Bioabfallkomposten unmöglich machen und ist wissenschaftlich und fachlich nicht begründbar.“

praktischen Betrieb der Biogasanlage kaum geeignet. Um diesen Missstand zu beheben, wurde im Auftrag des BMU von der KTBL-Arbeitsgruppe „Hygiene-Prüfsystem für Vergärungsanlagen und Umsetzung der Ergebnisse“ Anhang 2 der BioabfV überarbeitet und als Entwurf im September 2004 übergeben /115/. Darin sind im Vergleich zu den derzeit gültigen Bestimmungen insbesondere differenziertere Vorgaben für die Nachweisführung bei unterschiedlichen Behandlungsverfahren (d. h. aerob, anaerob) enthalten. Die Hygienisierungsleistung thermophiler anaerober Prozesse wird darin unter Voraussetzung der dokumentierten Einhaltung der bei einer bestandenen Prozessprüfung³⁷ verwendeten Mindestverweilzeiten³⁸ und Temperaturen anerkannt³⁹.

Die im Entwurf vorliegenden Überarbeitungsvorschläge der Anhänge 1 (s. o.) und 2 werden gegenwärtig in Fachkreisen diskutiert. Ob daraus ein Verfahren zur Novellierung der BioabfV abgeleitet wird, kann derzeit noch nicht abgesehen werden /116/.

Immissionsschutzrechtliche Anforderungen für Kompostierungs- und Vergärungsanlagen sind in der Technischen Anleitung Luft (TA Luft) /117/ unter den Abschnitten Nr. 5.4.8.5 und 5.4.8.6.1 zusammengestellt und von den zuständigen Behörden bei der Genehmigung bzw. Nachrüstung zu berücksichtigen. Dabei werden folgende Punkte konkretisiert:

- * Mindestabstandregelungen bei Anlagen mit Durchsätzen > 3.000 Mg/a (Kompostierung) bzw. > 10 Mg/d (Vergärung)
- * Bauliche und betriebliche Anforderungen wie z. B. Kapselung der Aufgabe- und Behandlungsbereiche, Abgaserfassung und -reinigung, etc.,
- * Grenzwerte für Gesamtstaub und geruchsintensive Stoffe sowie Prüfpflichten für Keime.

Insbesondere bei Mieten - Kompostierungsanlagen mit Durchsätzen > 10.000 Mg/a kann sich aufgrund der notwendigen geschlossenen Ausführung von Bunker und Haupttröte ein gravierender und kostenintensiver Änderungsbedarf einstellen. Der behördliche Ermessensspielraum im Hinblick auf die Umsetzung der Anforderungen bei Altanlagen (Übergangsfrist bis 30.10.2007) ist derzeit noch nicht abschließend geklärt. Das hessische Umweltministerium hat diesbezüglich das BMU gebeten, die sachgerechte Umsetzung der Anforderungen in einer fachübergreifenden Bund-/Länderarbeitsgruppe einvernehmlich zu klären /117/.

Im Hinblick auf die Stromerzeugung aus Bioabfällen beinhalten die Vorgaben der TA Luft eine zusätzliche Chance, indem – in Abhängigkeit der Stringenz des Vollzuges - durch die erforderlichen technischen Umrüstungen im Sinne einer Anpassung technischer Standards

³⁷ Einmalige Prüfung bei Neuerrichtung der Anlage und bei wesentlicher Änderung des Verfahrens. Die Prozessprüfung umfasst zwei zeitlich getrennte Untersuchungsgänge mit je 24 Einzelproben (8 Proben Seuchenhygiene; 16 Proben Phytohygiene) mit einem Mindestabstand von 3 Monaten.

³⁸ Feststellung der Mindestverweilzeiten z. B. mit Traceruntersuchungen

³⁹ Bei mesophilen Anlagen ist nach wie vor eine vor- oder nachgeschaltete Pasteurisierung erforderlich.

vorhandene Preisdifferenzen zu Billig-Kompostierungsanlagen⁴⁰ reduziert bzw. ausgeräumt werden. Die derzeit zu beobachtenden, teilweise länderübergreifenden Stoffstromverlagerungen würden dadurch gegebenenfalls unterbunden.

6.3 Markt- und Stoffstromerhebung

6.3.1 Bundesweites Aufkommen an Bioabfall

Grundlage für die Abschätzung des bundesweiten Bioabfallaufkommens bilden die Daten des Statistischen Bundesamtes sowie die Angaben der einzelnen Länderabfallbilanzen.

Eine umfassende Betrachtung zu den national verfügbaren Datenquellen hinsichtlich des Abfallaufkommens im Bereich der Siedlungsabfälle beinhaltet das BMU/UBA Forschungsprojekt „Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland“ /119/. Die darin beinhalteten Herleitungen werden für den Bereich der hier zu thematisierenden Abfallströme berücksichtigt. Im Sinne der Vergleichbarkeit sowie angesichts der mittlerweile vorliegenden, aktuelleren Datengrundlagen werden in den nachfolgenden Ausführungen jedoch nur die Angaben des Statistischen Bundesamtes⁴¹ (Mengen aus dem Inland) sowie die ausgewerteten Länderabfallbilanzen zugrunde gelegt.

Hinsichtlich der Auswertung der Länderabfallbilanzen /120/ f. besteht nach wie vor die Problematik einer im Vergleich der Bundesländer nicht einheitlichen Zuordnung von Stoffströmen zu Abfallfraktionen. Insbesondere im Bereich der „kompostierbaren Abfälle“ sind hier deutliche Unterschiede zu konstatieren. Die Zuordnung zu Fraktionen wie ‚Bioabfall‘, ‚Grün- oder Gartenabfälle‘ oder ‚Garten- und Parkabfälle‘ erfolgt nicht nach einer eindeutigen Systematik. Teilweise ist z. B. Grüngut überhaupt nicht aufgeführt. Bei den „hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen“ sind keine Abfälle aus Behandlungsanlagen (sog. Sekundärabfälle) ausgewiesen.

Unter Berücksichtigung der obigen Zusammenhänge sind in der nachfolgenden Tabelle 6-2 die darstellbaren Mengenströme zusammen gefasst. Zum Zeitpunkt der Berichtslegung lagen dabei sowohl auf der Ebene der Länderabfallbilanzen, als auch beim Statistischen Bundesamt Angaben bis zum Jahr 2003 vor.

⁴⁰ Billig-Kompostierungsanlagen mit einer entsprechenden Qualität der Behandlung akquirieren derzeit mit Dumpingverwertungspreisen bundesweit und blockieren damit teilweise sinnvolle regionale Verwertungsstrategien. Eine durch die TA Luft initiierte Anpassung technischer Standards würde daher zu einer besseren Chancengleichheit am Markt führen.

⁴¹ Die in StBA Tabelle 1.1 ausgewiesene Fraktion „Gemischte Siedlungsabfälle“ bzw. „Siedlungsabfälle nicht differenzierbar“ wird dabei konform zur Vorgehensweise im obigen Projekt für das Jahr 2001 /119/ gleich bleibend zu 64 % auf den Hausmüll, zu 26 % auf die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle und zu 10 % auf den Sperrmüll verteilt.

Tabelle 6-2: Abfallaufkommen nach Jahren und Datenquellen

| Jahr | 1990 | 1997 | 2001 | | 2002 | | 2003 | |
|----------------------------------|--------------------|--------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Quelle | [StBA] | [StBA] | [StBA] | [LAB ⁴] | [StBA] | [LAB ⁴] | [StBA] | [LAB ⁴] |
| in [1.000 Mg] | | | | | | | | |
| Hausmüll | 33.807 | 18.476 | 15.937 | 14.715 | 15.375 | 14.454 | 14.519 | 14.060 |
| Sperrmüll | 3.427 | 3.170 | 2.289 | 2.932 | 2.595 | 2.879 | 2.254 | 2.666 |
| Gesamt | 37.233 | 21.646 | 18.226 | 17.646 | 17.970 | 17.333 | 16.773 | 16.726 |
| hausmüllähnln. Gewerbeabf. | 15.239 | 5.305 | 5.326 | 4.107 | 3.648 | 3.935 | 3.452 | 3.482 |
| Bioabfall | 1.264 ² | 2.935 | 3.794 | 4.857 | 3.456 | 5.043 | 3.458 | 4.789 |
| Garten- und Parkabfall | 718 ² | 3.216 | 3.928 ³ | 3.059 | 4.148 ³ | 3.306 | 3.888 ³ | 3.211 |
| sonstige Organik ¹ | k.A. | 83 | 70 | 39 | 668 | 35 | 484 | 34 |
| Gesamt | 1.982 | 6.234 | 7.791 | 7.954 | 8.272 | 8.384 | 7.830 | 8.033 |

¹ Abfallfraktionen mit potenziell hohen organischen Anteilen wie z. B. biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle, Marktabfälle;

² Annahmen auf der Grundlage der Tabellen 2 und 4.1 [StBA 1994];

³ nur kompostierbarer Anteil ohne Erde, Steine, Störstoffe;

⁴ /120/

Auf der Grundlage der obigen Herleitungen ist somit gemäß den Festlegungen in Kapitel 6.2.1 für das Jahr 2003 von einem verfügbaren Aufkommen an getrennt erfassten Bioabfällen in folgender Größenordnung auszugehen (gemittelter Ansatz aus beiden Datenquellen; die Fraktion „sonstige Organik“ wird den Bioabfällen zugeschlagen); siehe Tabelle 6-3.

Tabelle 6-3: Absolutes und spezifisches Bioabfallaufkommen in Deutschland (2003)

| | Absolutes Aufkommen [1.000 Mg] | Einwohnerspezifisches Aufkommen [kg/E*a] |
|----------------------------|-----------------------------------|---|
| Bioabfall aus der Biotonne | 4.365 | 53 |
| Garten- und Parkabfälle | 3.550 | 43 |
| Gesamt | 7.915 | 96 |

Nachdem bis zum Jahr 2002 eine stetige Zunahme der getrennt erfassten Bioabfallmengen (inkl. „sonstige Organik“) festzustellen war, ist für 2003 wieder ein leichter Rückgang zu verzeichnen. Die damit offensichtlich einher gehende Konsolidierung der getrennten Erfassung über die Biotonne lässt sich auch aus den Anschlussgraden ableiten. Während z. B. im Jahr 1997 323 Verwaltungseinheiten an das System Biotonne angeschlossen waren (Flächendeckung 77 %), erfolgten bis zum Jahr 2002 nur noch neun Neueinführungen (Flächendeckung 2002: 79 %) /122/. Die möglichen Gründe dafür wurden bereits im Kapitel 6.1 aufgezeigt. Weitere Systemdaten der Biotonne lassen sich zum Bezugsjahr 2002 nach /122/ wie folgt zusammenfassen:

- * ca. 38,7 Mio. Einwohner sind in Deutschland an das System Biotonne angeschlossen (Anschlussgrad ca. 47 %),

- * bis zum Jahr 2005 wollte nur eine weitere Verwaltungseinheit (ÖRE) die Biotonne zusätzlich einführen,
- * 10 % der Verwaltungseinheiten, die bereits über eine Biotonne verfügen, beabsichtigen zukünftig den Anschlussgrad zu erhöhen.

Neben den bereits separat erfassten Fraktionen beinhalten die als Mischabfall ausgewiesenen Abfallarten zusätzliche organische Anteile, die zukünftig Potenzial bildend sein könnten. Mangels einer aktuellen, bundesweiten Abfallanalyse wird hinsichtlich der Einschätzung der entsprechenden Anteile auf eine Ausarbeitung von /123/ zurückgegriffen, in welcher auf der Basis von regionalen Abfallanalysen eine bundesweite Zusammensetzung heterogener Abfallarten modelliert wird. Danach lassen sich für die einzelnen Abfallarten folgende Organikanteile darstellen:

- * im Hausmüll: 37,3 Gew.-% (inkl. der organischen Anteile im Feinmüll⁴²),
- * im Sperrmüll: 2,4 Gew.-%,
- * im hausmüllähnlichen Gewerbeabfall: 8,3 Gew.-%.

Als theoretisches Potenzial hinsichtlich einer möglichen Biomassenutzung kann somit die Summe der biologisch abbaubaren Mengenströme aus der getrennten Erfassung (Biotonne, Grünschnittannahme) sowie der Restmüllbeseitigung (Hausmüll, Sperrmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall) definiert werden. In diesem Zusammenhang sind unter Berücksichtigung der obigen Herleitungen für das Jahr 2003 folgende Potenziale darstellbar (Tabelle 6-4).

⁴² Feinmüll ist die nicht sortierbare Fraktion < 8 mm; der Anteil der Organik in dieser Fraktion liegt nach /123/ bei ca. 55 Gew.-% (z. B. Grasschnitt); dieser Anteil kann bei der Bereitstellung getrennter Erfassungssysteme mobilisiert werden

Tabelle 6-4: Theoretische Potenziale an Bioabfällen in Deutschland (2003)

| Herkunft | Absolutes Potenzial [1.000 Mg/a] | Einwohnerspezifisches Potenzial [kg/E*a] |
|---|-------------------------------------|--|
| <i>Getrennte Erfassung</i> | | |
| Biotonne | 4.365 | 53 |
| Garten-/Parkabfälle, Grünschnitt ¹ | 3.550 | 43 |
| Gesamt | 7.915 | 96 |
| <i>Mischabfälle zur Beseitigung</i> | | |
| Bio- und Grünabfälle im Resthausmüll ² | 5.330 | 65 |
| Bio- und Grünabfälle im Sperrmüll | 59 | 1 |
| Bio- und Grünabfälle im hausmüllähnlichen Gewerbeabfall | 288 | 4 |
| Gesamt | 5.677 | ca. 70 |

¹ ohne direkt gemulchtes Material; /96/ geht von einem Gesamtpotenzial von 8 bis 10 Mio. Mg/a aus;

² inklusive 55 Gew.-% der Feinmüllfraktion

Für das System Biotonne ergibt sich nach den obigen Angaben eine mittlere Erfassungsquote von ca. 45 %. Diese vergleichsweise geringe Quote weist unter Berücksichtigung der Ergebnisse im Bereich anderer Wertstoffsegmente (z. B. Papier, Glas) sowie derjenigen in gut eingeführten Biotonnengebieten auf ein sehr hohes Optimierungspotenzial hin. Erfassungsquoten im Bereich von ca. 80 % sind dabei gemäß regionalen Erfahrungen durchaus möglich.

Hinsichtlich der technischen Mengen-Potenziale ist zu berücksichtigen, dass selbst bei gut funktionierenden Erfassungskonzepten mittels einer Biotonne der Anteil an Organik im Resthausmüll (graue Tonne) nicht vollständig erfasst werden kann. Wird von einem Toleranzwert an im Resthausmüll verbleibender Organik von 25 kg/E*a ausgegangen ⁴³, ergibt sich unter zusätzlicher Berücksichtigung einer 80 %-igen Erfassung der Organikanteile in den anderen beiden Abfällen zur Beseitigung – wenn keine weitere Abschöpfung der Mengen aus dem Bereich der Eigenkompostierung unterstellt wird – gemäß den obigen Herleitungen ein technisch verfügbares Bioabfall – Potenzial von ca. 11,5 Mio. Mg.

Bezüglich der Bioabfall-Mengen, die einer Eigenkompostierung zugeführt werden sind derzeit keine genauen Angaben verfügbar. Grobe Einschätzungen aus Fachkreisen gehen von ca. 3 bis 7 Mio. Mg/a aus /124/. Aufgrund der nach /125/ unter definierten Rahmenbedingungen⁴⁴ hohen Umweltverträglichkeit dieses Verwertungsweges wird hier keine Stoffstromverlagerung im Sinne einer Potenzialbildung unterstellt.

Die Zusammensetzung der Bio- und Grünabfälle aus Haushalten ist vergleichsweise großen saisonalen und regionalen Schwankungen unterworfen. Neben den jahreszeitlichen Abhängigkeiten wirken sich insbesondere die durch die jeweiligen Gebietskörperschaften

⁴³ erreichbarer Wert nach /122/

⁴⁴ Fürsorglichkeit, „gute fachliche Praxis“, Qualität der Komposte

vorgegebenen Erfassungsmodalitäten⁴⁵ auf Menge und Zusammensetzung der erfassten Bioabfälle aus. Während im Zeitraum Januar bis März – besonders bei extremen Witterungsverhältnissen - über die Biotonne zu einem großen Anteil Küchenabfälle erfasst werden, können in der warmen Jahreszeit bis zu 80 % der Materialien aus Gartenabfällen bestehen /126/

Auch die Störstoffbelastungen⁴⁶ können in Abhängigkeit der jeweiligen Erfassungsbereiche stark schwanken. Nach den Befragungen von /122/ liegen die Anteile jedoch größtenteils unter 5 % (Abbildung 6-1).

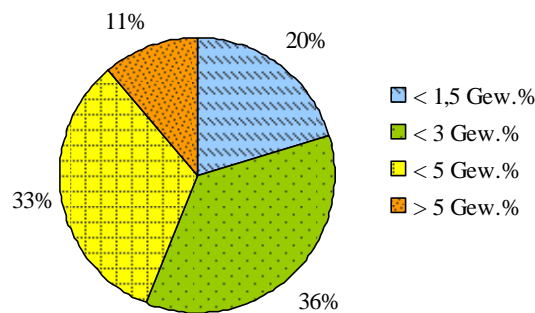


Abbildung 6-1: Störstoffbelastungen im Bioabfall – Anteil der befragten Verwaltungseinheiten (Stand 2002)

⁴⁵ Hier: zulässige Abfallstoffe in der Biotonne (z. B. Papier, Fleisch), Gebührenbeaufschlagung der Biotonne, bereitgestelltes Gefäßvolumen, Abfuhrintervalle, etc.

⁴⁶ mittlere Zusammensetzung der Störstoffe: 57 % Kunststoffe, 9 % Glas, 6 % Metall und 28 % sonstige Störstoffe (Steine, Textilien, Haushaltsgegenstände)

Garten- und Parkabfälle setzen sich im Jahresmittel zu ca. 60 bis 80 Vol.-% aus holzigen Bestandteilen (z. B. Äste, Zweige) und zu 20 bis 40 Vol.-% aus Laub und krautigem Material zusammen [127]. Die Zusammensetzung unterliegt dabei saisonalen Abhängigkeiten (z. B. Weihnachtsbaumproblematik) sowie Einflüssen aus zusätzlichen Erfassungssystemen (z. B. Biotonne). Störstoffanteile (z. B. Kunststoff, Papier, Glas) sind je nach Erfassungssystem (z. B. bei unbeaufsichtigt aufgestellten Sammelcontainern) nicht auszuschließen, liegen jedoch bei gut eingeführten Systemen im Regelfall unter 1 Gew.-%. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine exemplarische Zusammensetzung (Tabelle 6-5).

Tabelle 6-5: Zusammensetzung und Eigenschaften von Grünschnitt aus Garten- und Parkanlagen (Mittelwerte nach Fischer 1988)

| Saison | Zusammensetzung (vor der Zerkleinerung) | Wassergehalt | C : N - Verhältnis |
|----------|---|--------------|--------------------|
| Herbst | 68 Vol.-% Äste und Zweige 22 Vol.-% Laub 10 Vol.-% krautiges Material | 54 Gew.-% | 43 |
| Frühjahr | 90 Vol.-% Äste und Zweige 5 Vol.-% Laub 5 Vol.-% krautiges Material | 38 Gew.-% | 57 |

6.3.2 Länderspezifisches Aufkommen an Bioabfall

Im Hinblick auf die Differenzierung länderspezifischer Daten wurden die Abfallbilanzen der Bundesländer der Jahre 2001, 2002 und 2003 ausgewertet. Die Vergleichbarkeit der Angaben ist dabei nur eingeschränkt gegeben, da die Zuordnung von Stoffströmen zu Abfallfraktionen im Vergleich der Bundesländer uneinheitlich ist⁴⁷. In der nachfolgenden Abbildung 6-2 f. sind die erfassten Absolutmengen und die einwohnerspezifischen Bioabfallaufkommen auf der Grundlage der dokumentierten Angaben dargestellt. Ergänzend wird das noch im Restmüll zu vermutende Potenzial an Bioabfall auf der Basis der Ansätze gemäß Tabelle 6-4 für die Mengen des Jahres 2003 gegenüber gestellt⁴⁸.

⁴⁷ So werden die Anteile an Grünabfall teilweise nicht separat ausgewiesen (z. B. Niedersachsen, Hessen), bzw. sind in der Länderbilanz überhaupt nicht aufgeführt (z. B. Saarland).

⁴⁸ Tolerierter Organikgehalt im Resthausmüll 25 kg/E*a; Erfassungsquote der noch im Sperrmüll und den hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen enthaltenen Organik von 80 %; kein Ansatz länderspezifischer Zusammensetzungen; es handelt sich somit um reine Orientierungswerte.

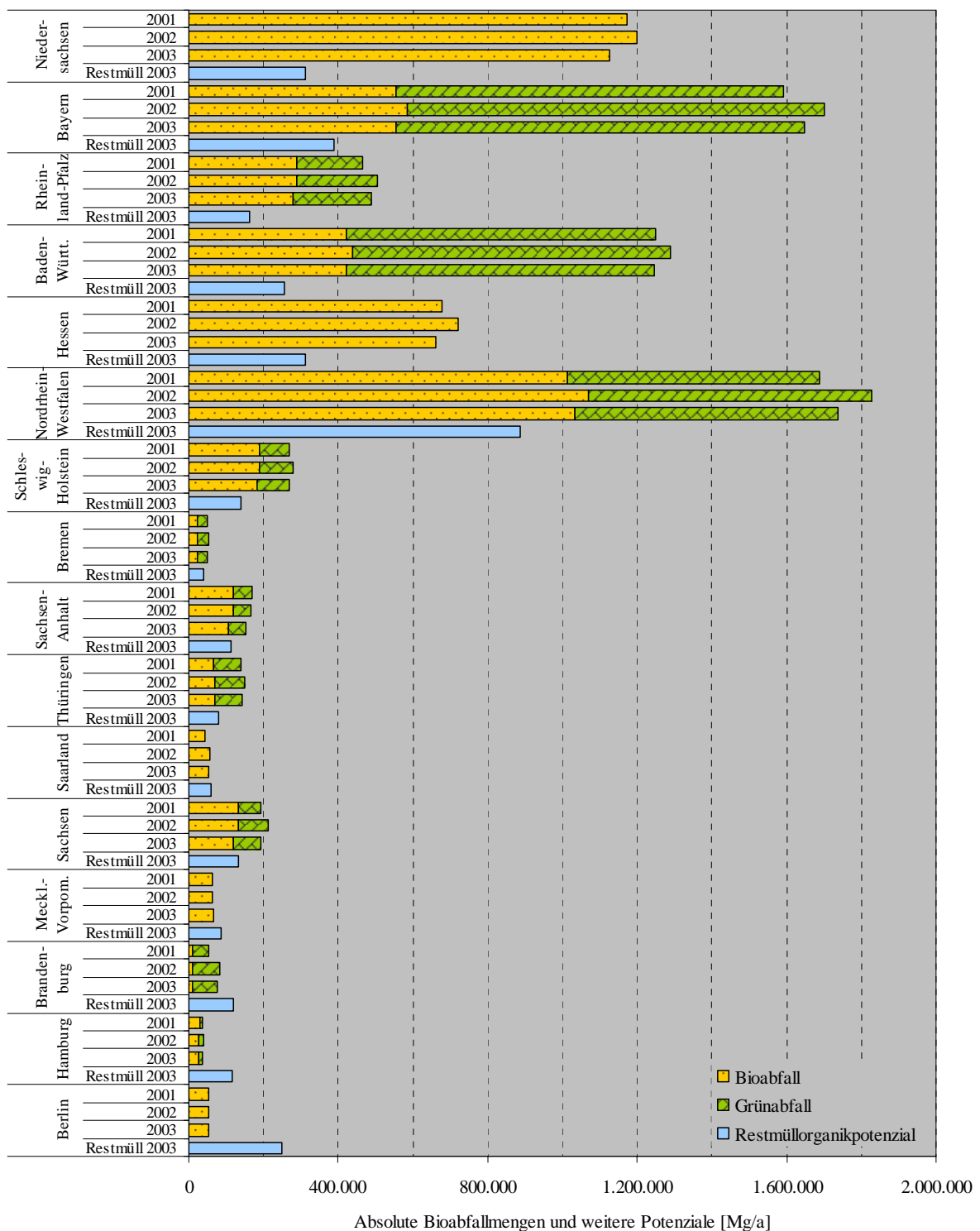


Abbildung 6-2: Absolute Bioabfallmengen für 2001 bis 2003 und Restmüllpotenzial für 2003 auf Länderebene

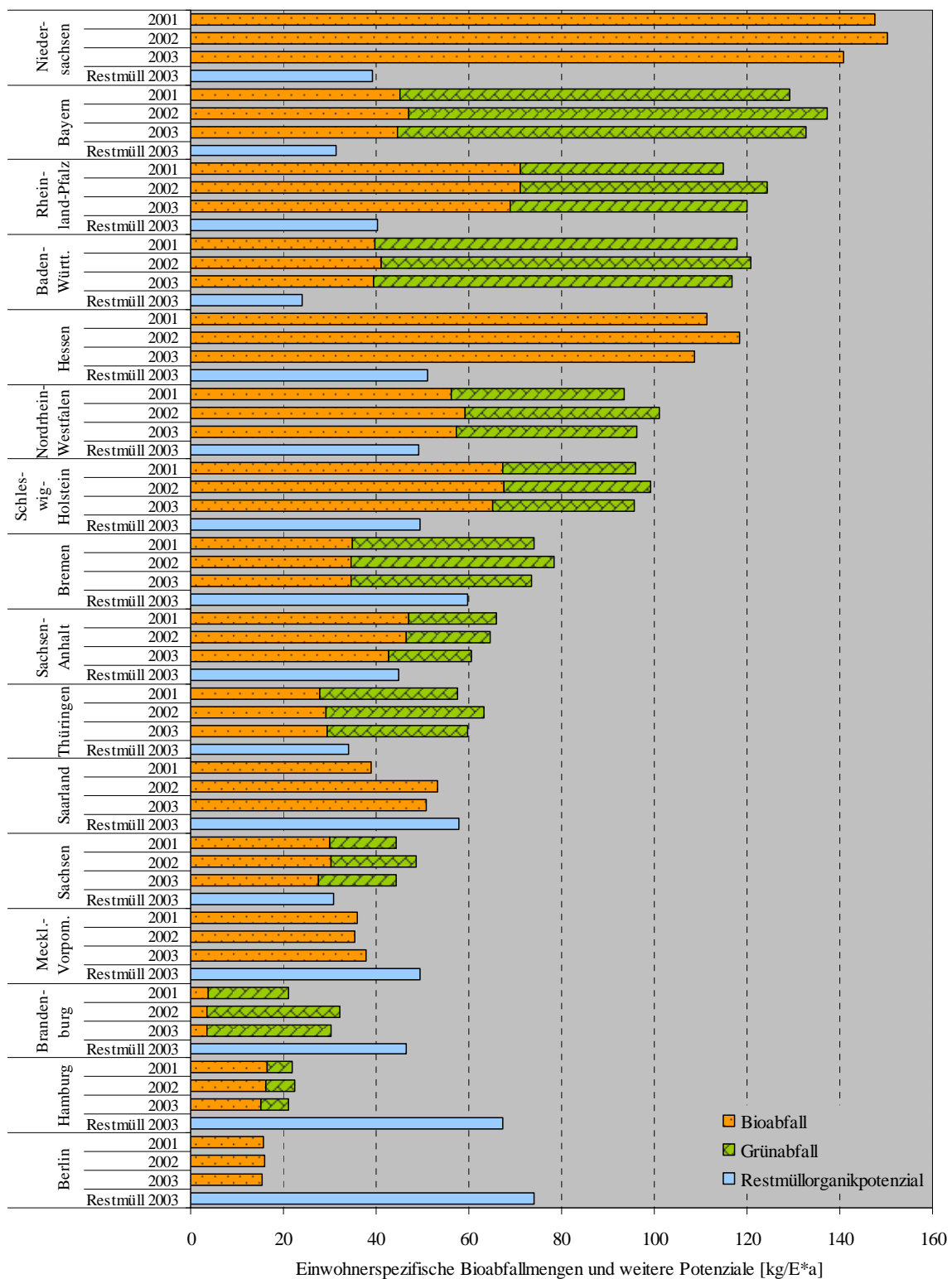


Abbildung 6-3: Einwohnerspezifische Bioabfallmengen für 2001 bis 2003 und Restmüllpotenzial für 2003 auf Länderebene

Folgende, grobe Aussagen lassen sich auf dieser Grundlage darstellen:

- * das spezifische Aufkommen streut – auch unter Berücksichtigung plausibler siedlungsstruktureller Abhängigkeiten (z. B. Städte Berlin und Hamburg) – sehr stark in einem Bereich von ca. 30 bis 140 kg/E*a (2003),
- * analog zur bundesweiten Entwicklung ist auch bei einer länderspezifischen Betrachtung fast durchgängig zu beobachten, dass sowohl die absoluten als auch die spezifischen Mengen bis 2002 ansteigen und zum Jahr 2003 hin wiederum zurückgehen (dies muss noch keinen Trend abbilden, sondern kann auch auf klimatische Besonderheiten zurückzuführen sein),
- * das dokumentierte spezifische Aufkommen an Bioabfall liegt für 2003 in den neuen Bundesländern mit ca. 47 kg/E*a deutlich niedriger als dasjenige der alten Bundesländer mit ca. 117 kg/E*a (nur Flächenstaaten),
- * das technische Bioabfallpotenzial liegt in Deutschland auf der Grundlage der definierten Rahmenbedingungen im Mittel bei ca. 122 kg/E*a.

6.3.3 Anlagen zur Bioabfallverwertung

Zum Bezugsjahr 2003 wurden gemäß Tabelle 6-3 ca. 7,9 Mio. Mg an Bio- und Grünabfällen (Bioabfälle über Biotonne, Garten- und Parkabfälle) getrennt erfasst und einer Verwertung zugeführt. Diesem Mengenaufkommen stehen auf der Grundlage veröffentlichter Daten (siehe Quellenangabe) die nachfolgend dargestellten Behandlungskapazitäten (und deren zeitliche Entwicklung) gegenüber.

Tabelle 6-6: Entwicklung der Behandlungskapazitäten für Bio- und Grünabfälle

| Verfahren | 1996 | | 1998/99 | | 2004 | |
|---------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|
| | Anzahl [-] | Menge [Mio. Mg/a] | Anzahl [-] | Menge [Mio. Mg/a] | Anzahl [-] | Menge [Mio. Mg/a] |
| Kompostierung | 380* | 5,0* | 544* | 7,1* | 813*** | 10,1*** |
| Vergärung | 22** | 0,3** | 42** | 1,2** | 85*** | 2,4*** |
| Gesamt | 402 | 5,3 | 586 | 8,34 | 898*** | 12,5*** |

* /128/; es werden nur Anlagen mit einem Durchsatz > 1.000 Mg berücksichtigt

** /129/

*** /130/

Im Vergleich zu den in der Statistik der Bundesgütegemeinschaft Kompost⁴⁹ gelisteten, ca. 900 Anlagen, weist das StBA für 2003 1.205 biologische Behandlungsanlagen aus, in denen Siedlungsabfälle (EAV-Gruppe 20; ca. 7,6 Mio. Mg) eingesetzt werden⁵⁰.

⁴⁹ Die Listen der BGK sind zwar sehr weit gehend, aber nicht umfassend; sie decken die Anlagen ab, mit denen die BGK bereits in Kontakt stand; im Bereich der Bioabfallbehandlung dürfte jedoch eine hohe Deckungsquote erreicht sein.

⁵⁰ Die Differenz von ca. 300 Anlagen gegenüber den Zahlen der BGK ergibt sich gegebenenfalls u.a. aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen, in denen Bioabfälle mitbehandelt werden. Nach FAL Braunschweig setzten z. B. 12 % der Biogasanlagen Bioabfall als Co-Substrat ein; bei ca. 1.760 Anlagen im 2003 entspricht dies einem Anteil von ca. 200 Anlagen.

Die Einschätzung der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., wonach die Anzahl von Vergärungsanlagen für getrennt erfasste Bioabfälle in den letzten Jahren mit der immer weiter fortschreitenden Einführung von Biotonnen kontinuierlich angestiegen ist, wird durch die Tabelle 6-6 für den darin dokumentierten Betrachtungszeitraum bestätigt. Während 1996 die Biogastechnologie noch einen Anteil von ca. 5,7 % an der genehmigten Gesamt-Anlagenkapazität hatte, ist gemäß den BGK-Angaben für Ende 2004 ein Anteil von ca. 19,2 % zu konstatieren.

Die Zuordnung von Mengenströmen zu Behandlungsanlagen lässt sich nach den Angaben des StBA differenziert nach Anlagentyp und Durchsatzkapazität für 2002 wie folgt darstellen (Tabelle 6-7).

Tabelle 6-7: Zuordnung von Mengenströmen zu Behandlungsanlagen in Deutschland für 2002 (StBA 2005)

| in [1.000 Mg] | Kompostierbare Abfälle (einschl. Biotonne) | Garten- und Parkabfälle | |
|--|--|----------------------------|-------|
| <i>nach Anlagentyp</i> | | | |
| Kompostierungsanlagen | 3.068 | 2.012 | |
| Kompostierungsanlagen für Grünschnitt | 33 | 1.900 | |
| Vergärungsanlagen | 349 | 70 | |
| <i>nach Durchsatzkapazität</i> | | | |
| < 5.000 Mg/a | 72 | 613 | |
| 5.000 bis 10.000 Mg/a | 402 | 1.005 | |
| 10.000 bis 20.000 Mg/a | 705 | 715 | |
| > 20.000 Mg/a | 2.271 | 1.649 | |
| Gesamt | 3.450 | 3.981 | 7.431 |

Etwa 420.000 Mg an kommunalen Bio- und Grünabfällen wurden danach im Jahr 2002 einer anaeroben Behandlung zugeführt. Ca. 83 % der Eingangsmengen in den Vergärungsanlagen sind dabei gemäß der obigen Tabelle potenziell strukturärmere Mengenströme z. B. aus der Biotonne. Nur 17 % des Inputs beinhalten Garten- und Parkabfälle⁵¹. Bei einer im Jahr 2002 zugewiesenen Gesamtmenge von ca. 0,42 Mio. Mg nahmen dabei die den Vergärungsanlagen zugeordneten Stoffströme, wie aus Tabelle 6-8 ersichtlich, im Vergleich zum Jahr 2000 zu (StBA; zu den vorangegangenen Jahren sind keine Angaben verfügbar).

⁵¹ Es kann hier nicht eindeutig abgegrenzt werden, ob es sich hierbei um Mengenströme handelt, die bei der Nachkompostierung des Gärückstandes als Strukturmaterial eingesetzt werden.

Tabelle 6-8: Entwicklung der den Vergärungsanlagen zugewiesenen Mengen

| | Einheit | 2000 | 2002 |
|--|------------|---------|---------|
| Anzahl der Anlagen | [Stück] | 104 | 379 |
| Kapazität (Nennleistung) | [1.000 Mg] | 1.777,4 | 4.217,1 |
| Eingesetzte Abfallmenge insgesamt ^a | [1.000 Mg] | 1.254,4 | 2.783,0 |
| Bioabfälle ^b | [1.000 Mg] | 387,7 | 418,4 |

^a insgesamt in Vergärungsanlagen eingesetzte Abfallmenge einschl. Bioabfall und Massen der EAV-Gruppe 02 (Abfälle aus Landwirtschaft, Gartenbau, Teichwirtschaft, Forstwirtschaft, Jagd und Fischerei sowie der Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln);

^b kompostierbare Abfälle (einschl. Biotonne); Garten- und Parkabfälle

Die Ursache für die Differenzen zwischen den Kapazitätsangaben der BGK und der Mengenzuweisungen des StBA liegen u. a. darin begründet, dass in den Daten der BGK auch Anlagen beinhaltet sind, die z. B. industrielle und/oder landwirtschaftliche Rückstände (wie z. B. Gülle, Kartoffelschlempe, Stärke, gewerbliche Lebensmittelreste) verarbeiten. /131/ ermitteln in diesem Zusammenhang für 2002 über eine Umfrage einen Bestand an reinen Bioabfallvergärungsanlagen (Biotonne) von 44 Standorten mit einer Behandlungskapazität von ca. 0,82 Mio. Mg/a.

Eigene Recherchen auf der Grundlage der Detail-Angaben der BGK e. V. führten unter Berücksichtigung weiterer Quellen⁵² zu folgenden Aussagen: die aktuelle Liste (Stand: 26.08.2005) der BGK e. V. weist 96 Vergärungsanlagen mit einer hochgerechneten Gesamtkapazität von 3,34 Mio. Mg/a aus⁵³. Von diesen Anlagen ist gemäß den durchgeführten Recherchen für 42 dokumentiert, dass sie kommunalen Bioabfall verarbeiten⁵⁴. Die hochgerechnete Gesamtkapazität dieser Anlagen⁵⁵ liegt bei 1,204 Mio. Mg/a. Hinsichtlich der Durchsatzkapazitäten der einzelnen Anlagen kann, differenziert nach Input und Vergärungsverfahren (nass, trocken) folgende Verteilung unterstellt werden (Abbildung 6-4; nur Anlagen mit bekannten Kapazitäten; n=83).

⁵² ANS e.V., Internet, Telefonrecherche, Fragebogen

⁵³ Im Internet (www.bgkev.de) sind Ende September 2005 demgegenüber 98 Anlagen gelistet; es sind nicht für alle Anlagen Angaben zur Durchsatzkapazität verfügbar; es erfolgt daher auf der Ebene der Bundesländer eine Hochrechnung, bei der die jeweiligen mittleren Durchsatzkapazitäten (pro Bundesland) zugrunde gelegt werden

⁵⁴ Bei den Anlagen, bei denen keine entsprechenden Informationen in der BGK-Liste vorlagen, wurden über eine Telefon-/Internetrecherche Informationen eingeholt; bei 14 Anlagen liegen keine Angaben vor; 40 Anlagen nennen ausschließlich andere Input-Materialien wie z.B.: Fettabscheiderinhalte, gewerbliche Speiseabfälle, NawaRo, Gülle, Kartoffelstärke, Pülpe, etc.

⁵⁵ Es konnten nur für zwei Anlagen keine Kapazitätsangaben ermittelt werden.

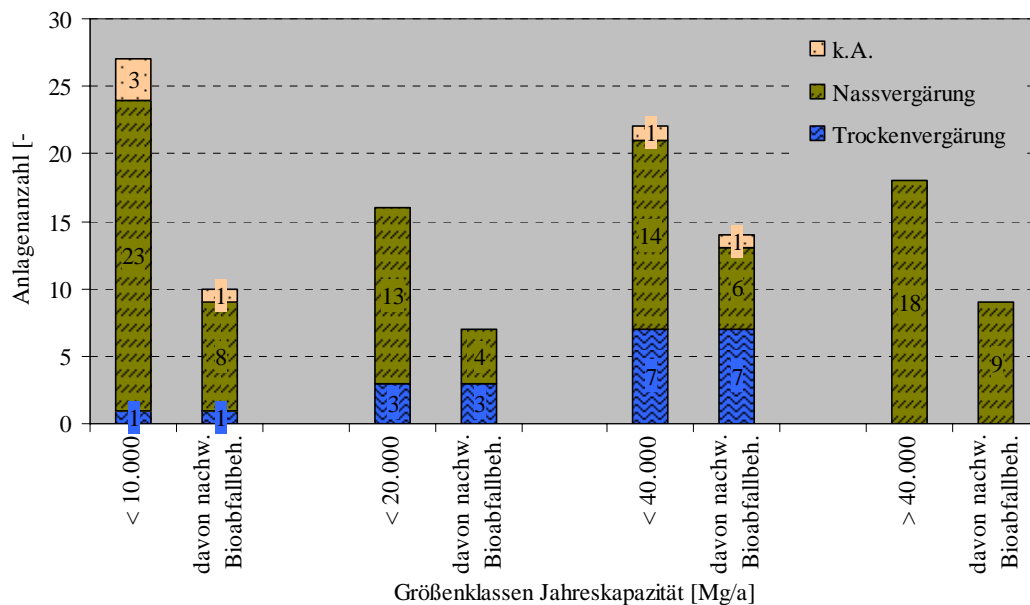


Abbildung 6-4: Häufigkeit der Vergärungsanlagen nach Durchsatzkapazität, Input und Verfahren (n=83/96)

Während von den bewertbaren Anlagen fast 1/3 Kapazitäten < 10.000 Mg/a aufweisen, liegen bei den Anlagen, die bekanntermaßen kommunale Bioabfälle verarbeiten nur ca. 24 % in diesem Segment. Übliche Durchsatzkapazitäten der anaeroben Bioabfallbehandlungsanlagen schwanken im Bereich von 10.000 bis 40.000 Mg/a. Bei einem mittleren Bioabfallaufkommen von ca. 53 kg/E*a lassen sich daraus Einzugsbereiche von ca. 190.000 bis 755.000 Einwohner (i. d. R. ÖRE, Landkreise, Verbände) ableiten.

Im Hinblick auf zukünftig mögliche Umrüstungen von reinen Kompostierungsanlagen in aerob/anaerob kombinierte Systeme werden in der nachfolgenden Abbildung 6-5 analog dazu die Häufigkeiten im Bereich der Kompostierungsanlagen zur Bioabfall- und Grünschnittbehandlung dargestellt. Im Segment < 10.000 Mg/a sind dabei hauptsächlich die Anlagen zur Verarbeitung von kommunalem Grünschnitt zu finden.

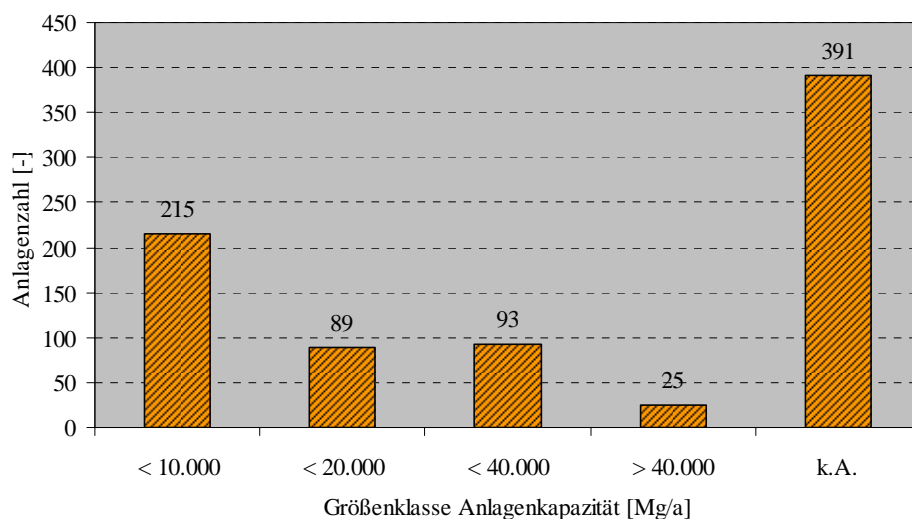


Abbildung 6-5: Häufigkeit der Kompostierungsanlagen nach Durchsatzkapazität (n=421/831)

Bezüglich der länderspezifischen Verteilung können hinsichtlich der hochgerechneten Anlagenkapazitäten (Kompostierung/Vergärung) sowie der jeweiligen Mengenaufkommen folgende Sachverhalte hergeleitet werden (Abbildung 6-6).

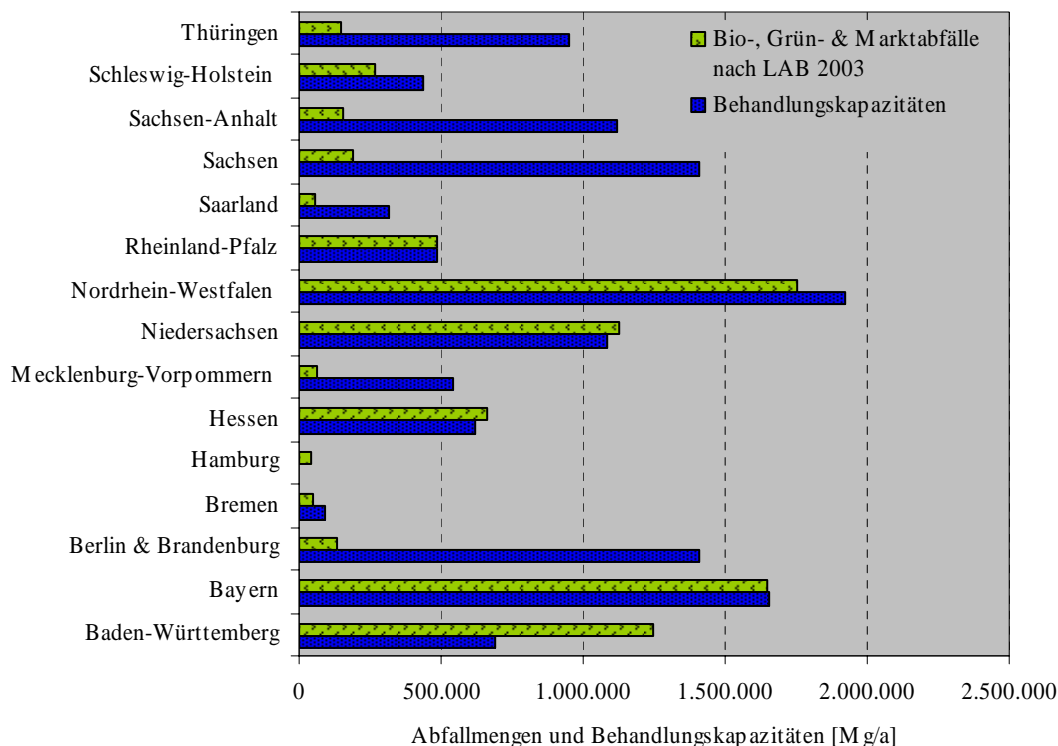


Abbildung 6-6: Durchsatzkapazitäten und Mengenaufkommen für Bio- und Grünabfall nach Bundesländern und Behandlungsverfahren (aerob/anaerob)

Die Verteilung der anaeroben Bioabfall-Behandlungskapazitäten (Biotonne) auf die Bundesländer stellt sich dabei wie folgt dar (Abbildung 6-7).

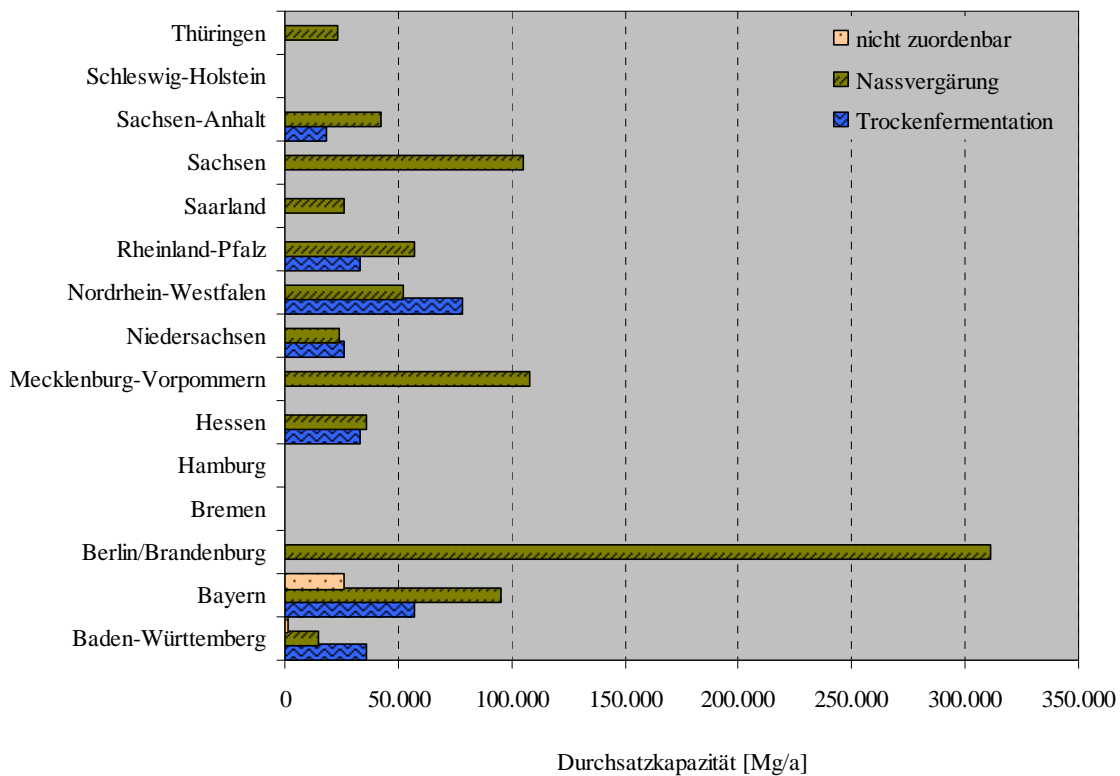


Abbildung 6-7: Anaerobe Behandlungskapazitäten für Bioabfall nach Bundesländer

Die geografische Verteilung der einzelnen Anlagenstandorte kann für den Bereich der Vergärungsanlagen der nachfolgenden Abbildung 6-8 entnommen werden.

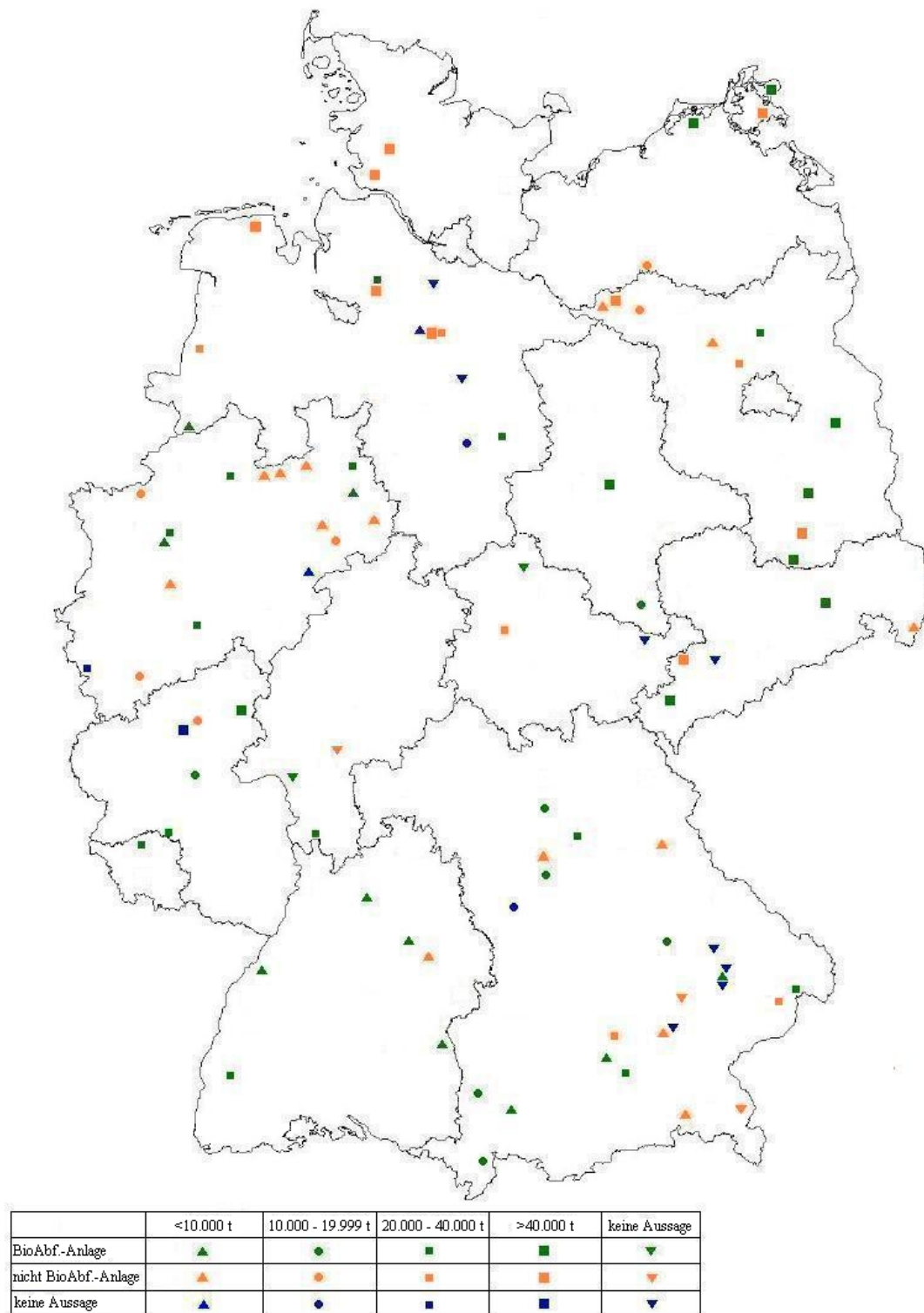


Abbildung 6-8: Geografische Verteilung der Vergärungsanlagen in Deutschland

6.3.4 Überregionale Verwertungswege

Gemäß Abbildung 6-6 existiert insbesondere in den neuen Bundesländern im Sinne ausgewiesener länderspezifischer Überkapazitäten ein deutliches Missverhältnis zwischen vorhandenen Kapazitäten und verfügbarem Mengenaufkommen. Dies führt – unter

zusätzlicher Berücksichtigung der in den neuen Bundesländern häufiger vorhandenen Anlagen mit geringerem technischem Standard (siehe Kapitel 6.4.1) – offensichtlich zu einer spürbaren länderübergreifenden Stoffstromverlagerung (hin zu Billiganlagen). Die nachfolgende Abbildung 6-9 weist in diesem Zusammenhang auf der Grundlage einer Kurzsrecherche⁵⁶ länderspezifisch, die anteilige Verarbeitung von Stoffströmen aus anderen Einzugsbereichen aus.

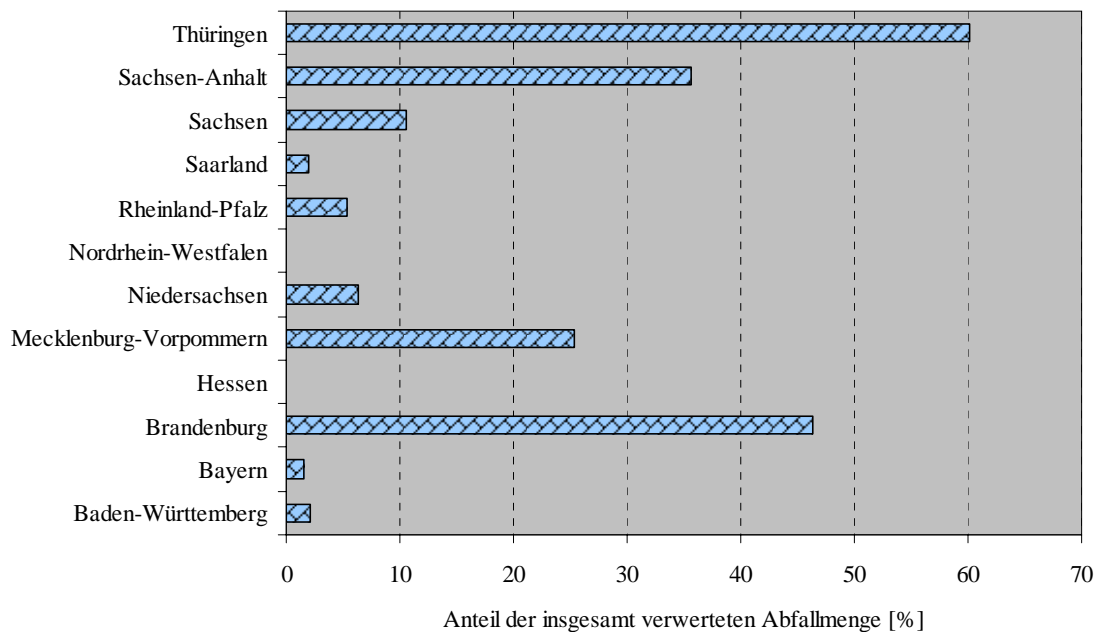


Abbildung 6-9: Anteiliges Aufkommen aus anderen Bundesländern an der insgesamt im jeweiligen Bundesland biologisch verwerteten Abfallmenge (2003)

Gemäß der obigen Abbildung stammen z. B. in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen > 35 % der im Land angenommenen und behandelten Mengen aus einem anderen Bundesland.

6.3.5 Stoffliche Verwertung der erzeugten Produkte

Von den in biologischen Abfallbehandlungsanlagen abgegebenen Stoffströmen wurden in den Jahren 1999 bis 2003 bundesweit im Mittel ca. 4 % als Stör- bzw. Fremdstoffe beseitigt. Die restlichen 96 % wurden der Verwertung zugeführt und in den Jahren 2000 sowie 2002 zu ca. 4,5 bis 4,6 Mio. Mg Kompost verarbeitet /121/. Von diesem Mengenaufkommen wurden dabei ca. 2,7 Mio. Mg (d. h. ca. 60 %) als RAL-gütesicherter Kompost produziert und abgesetzt (BGK, 2005).

Hinsichtlich der Vermarktungswege und Einsatzbereiche der erzeugten Komposte weist das StBA (2005) für 2002 aus, dass ca. 42 % in die Land- und Forstwirtschaft, ca. 32 % in die

⁵⁶ Telefonische Abfrage bei den statistischen Landesämtern bzw. den Landesämtern für Umweltschutz im Oktober 2005

Landschaftsgestaltung und -pflege, ca. 12 % in private Haushalte und ca. 14 % in andere, teilweise unbekannte Nutzungsbereiche gehen. Genauere Angaben liegen für die RAL-gütesicherten Komposte vor. Danach können für 2002 folgende Vermarktungswege dargestellt werden (Abbildung 6-10).

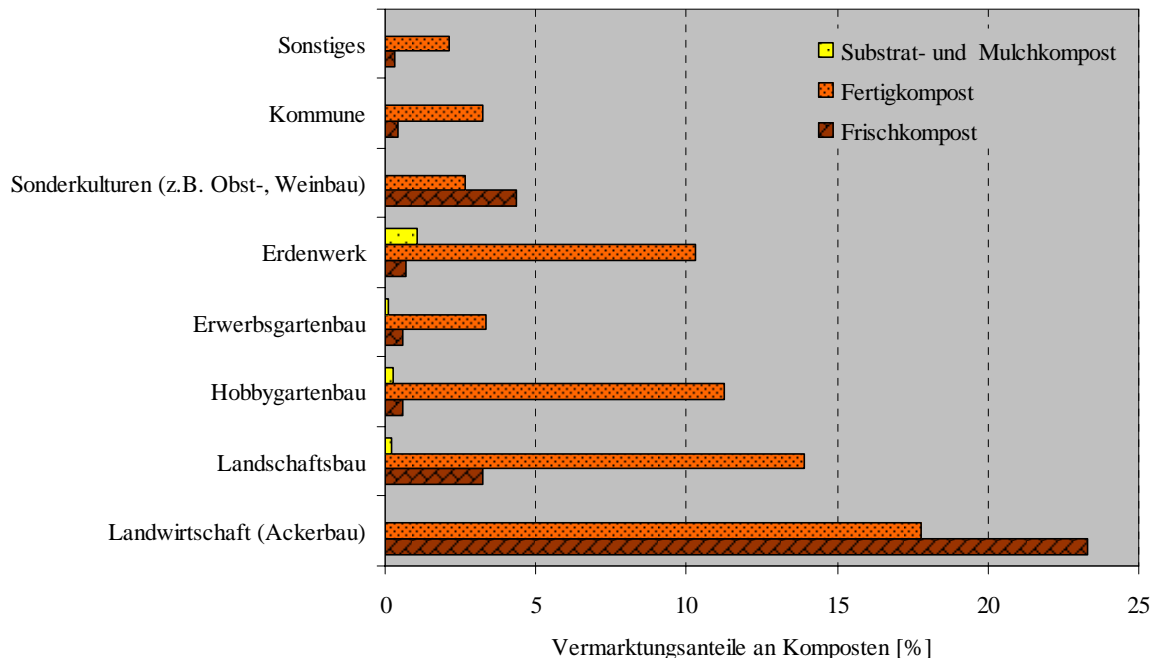


Abbildung 6-10: Vermarktungswege von RAL-gütesicherten Komposten in 2002 (BGK)

Hauptabnehmer ist danach mit einem Anteil von über 40 % die Landwirtschaft, welche dabei zu über 2/3 den produzierten Frischkompost abnimmt. Fertigkompost wird zu bedeutenden Anteilen in die Bereiche Landwirtschaft, Landschaftsbau und Hobbygartenbau abgesetzt, während Substratkompost (ca. 41.000 Mg/a) zu 70 % an Erdenwerke vermarktet und dort zur Herstellung von gärtnerischen Kultursubstraten und Blumenerden eingesetzt wird. Die genannten Angaben beziehen sich im Sinne von Mittelwerten auf die bundesweite Situation und können natürlich starken, regionalspezifischen Schwankungen unterliegen.

Hinsichtlich der Marktsituation kann unterstellt werden, dass es für Kompost im Rahmen einer aktiven Bewerbung und Vermarktung keine Absatzprobleme gibt. Es handelt sich gemäß BGK eher um einen Nachfragemarkt, bei dem die Nachfrage „im Mittel mit den produzierten Mengen nicht mehr gedeckt werden kann“ /130/. Tendenziell ist dabei der (finanziell weniger lukrative) Absatz von Komposten im Bereich der Landwirtschaft zugunsten der mit höheren Erlösen ausgestatteten außerlandwirtschaftlichen Absatzbereiche gewollt rückläufig.

6.3.6 Neue technische Ansätze

Bezüglich der Anwendung neuer, innovativer Verfahren im Bereich der Bioabfallbehandlung lassen sich im Kontext einer energetischen Nutzung u. a. unter Berücksichtigung der Definitionen nach § 8 Abs. 4 EEG folgende Ansätze darstellen:

- * **Trockenfermentation:** im Rahmen der vorgenannten Analyse der vorhandenen Datenbestände (Basis: BGK-Liste)⁵⁷ wurden insgesamt 11 Biogasanlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 281.500 Mg/a („nass“: 895.000 Mg/a; Rest: k.A.) ermittelt, welche mit einem „trockenen“ Verfahren arbeiten (hier: Verfahren mit einem TS-Gehalt > 15 %). Die Trockenfermentation ist somit im Bereich der Bioabfallbehandlung im Gegensatz zu landwirtschaftlichen Anwendungen im Sinne eines wirtschaftlich konkurrenzfähigen Verfahrens bereits etabliert. Die meisten der gelisteten Anlagen arbeiten dabei mit kontinuierlichen Verfahren⁵⁸. Lediglich eine Anlage arbeitet mit einem diskontinuierlichen Perkolationsverfahren⁵⁹. Einige Anlagenbetreiber erwägen derzeit, die Trockenvergärungstechnologie auch im Zusammenhang mit der Grünschnittbehandlung anzuwenden.
- * **Aerob/anaerobe Kombiverfahren:** um die Effizienz der Vergärung im Sinne einer höheren Verfügbarkeit anaerob abzubauenender Substanzen zu verbessern, werden in Form von Praxis- und Demonstrationsanlagen Perkolationsverfahren zur Vorbehandlung der Abfälle vor der Vergärung eingesetzt bzw. untersucht⁶⁰. Dabei erfolgt eine physikalische Auswaschung der löslichen organischen Substanzen sowie eine mikrobielle aerobe Hydrolyse und Versäuerung organischer Verbindungen durch Wasserdurchströmung und Belüftung. Die organische Substanz wird dadurch aus dem Abfall in die flüssige Phase überführt und kann in Form von Prozess- und Presswasser einer nachgeschalteten Vergärungsstufe zugeführt werden.
- * **Biogaseinspeisung in das Erdgasnetz:** mit dem neuen Energiewirtschaftsgesetz wird auch die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz erleichtert. Während im Bereich der Klärgasnutzung in der Vergangenheit bereits einige Anwendungen praktiziert wurden⁶¹, sind im Bereich der Biogasverwertung in Deutschland bislang nur grobe Projektansätze darstellbar⁶².

⁵⁷ Diese Liste ist nicht vollständig; im Rahmen einer orientierenden Internetrecherche wurden z. B. in den Referenzlisten von Anlagenbauern weitere Anlagen gefunden, die nicht in der BGK-Liste aufgeführt sind.

⁵⁸ z. B. Systeme der Anbieter Kompogas, Linde-BRV, OWS-Dranco, Valorga, etc.

⁵⁹ System Bekon

⁶⁰ z. B. IMK-Verfahren (Integriertes Methanisierungskonzept), ISKA-Perkolationsverfahren

⁶¹ z. B. Kläranlagen Stuttgart-Mühlhausen und Mönchengladbach-Neuwerk

⁶² z. B. Albersdorf (eingestellt), Schleswig (eingestellt), Freiburg (Einspeisung zur Co-Verbrennung)

- * **Nutzung als Treibstoff:** nachdem in Schweden und in der Schweiz schon seit längerer Zeit Biogas als Treibstoff z. B. für Kommunalfahrzeuge eingesetzt wird, sind in Deutschland bislang lediglich vereinzelte Projekte bzw. Projektansätze festzustellen⁶³.
- * **Brennstoffzelle:** im Rahmen eines Pilotprojektes wird in der Bioabfall-Vergärungsanlage Leonberg erstmals eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle im Biogasbetrieb eingesetzt. Die Inbetriebnahme ist für Anfang 2006 vorgesehen.
- * **Aufbereitung von Bioabfall zu einem Brennstoff:** alternativ zu der energetischen Verwertung von Bioabfällen in Biogasanlagen werden derzeit auch Untersuchungen durchgeführt, Bioabfälle nach einer entsprechenden Aufbereitung in Biomassekraftwerken energetisch zu verwerten. In einem von Dach /133/ dokumentierten Vorhaben werden dabei als Aufbereitungsschritte die Komponenten Störstoffseparation, Zerkleinerung / Homogenisierung, Separation mineralischer Anteil und Entwässerung/(biologische) Trocknung vorgesehen. Bei einer Trocknung über einen aeroben Prozess ist dabei eine Trocknungszeit von ca. 14 Tagen erforderlich, um auf Wassergehalte in einer Größenordnung von 20 bis 30 Gew.-% zu kommen. Bei ungünstigen Inputmaterialien (hoher Asche- bzw. geringer Organikgehalt) ist es gemäß den bisherigen Erfahrungen schwierig einen unteren Heizwert von 8 MJ/kg zu erreichen. Bei günstigeren Voraussetzungen sind Heizwerte in einem Bereich von 10 bis 14 MJ/kg möglich. Gemäß den vorläufigen Einschätzungen des im Vorhaben beteiligten Anlagenbetreibers wird das Material prinzipiell als geeignet eingestuft, allerdings aufgrund des geringen Heizwertes nur zur Mitverbrennung mit anderen Biomassebrennstoffen. Als negativ wird zudem der hohe Ascheanteil herausgestellt.
- * Einen etwas anderen Ansatz verfolgten /134/ im Rahmen ihrer Untersuchungen zur Brennstoffgewinnung aus Kompostrohstoffen. Hier wurden die Möglichkeiten untersucht, stofflich nicht verwertbare Teilströme wie etwa Siebreste im Hinblick auf eine energetische Verwertung – ohne Gefährdung der stofflichen Verwertungsschiene – auszuschleusen. Als Fazit wurde für den Stoffstrom getrennt gesammelter Bioabfall (Biotonne) festgestellt, dass daraus weder mit vertretbarem Aufwand noch in nennenswerter Menge qualitativ geeignete Biomassebrennstoffe gewonnen werden können. Eine Möglichkeit wird jedoch darin gesehen aus den Grünabfällen über eine selektive Zerkleinerung und anschließende Siebklassierung saubere, trockene und energiereiche Hölzer anzureichern, die die qualitativen Anforderungen an Biomassebrennstoffe erfüllen. Das verbleibende Feingut soll nach wie vor der Kompostierung zugeführt werden. Entsprechende Zusammenhänge werden im Kapitel 4.5 nochmals aufgegriffen.

⁶³ z. B. Saarbrücken, Freiburg

6.3.7 Ergebnisse der Befragung von Anlagenbetreibern

Da hinsichtlich einer vertieften Betrachtung (z. B. Wirtschaftlichkeit, Anlagennutzung, etc.) im Bereich der anaeroben Bioabfallbehandlung im Vergleich zu der Datenlage bei landwirtschaftlichen Anlagen (z. B. KfW-Daten) kaum direkt nutzbare Informationen zur Verfügung stehen, wurden zusätzlich separate Erhebungen über eine Befragungsaktion durchgeführt und Interviews mit Anlagenbetreibern geführt. Die daraus erzielten Informationen wurden mit Literaturwerten und über eine Internetrecherche abgeglichen.

Die Befragungsaktion hatte bei einem Verteiler von 66 Anlagen⁶⁴ einen Rücklauf von 18 Fragebögen (= 27,3 %). Folgendes Bild lässt sich auf dieser Grundlage darstellen⁶⁵:

- * Fünf der Anlagen verarbeiten keinen Bioabfall, bzw. verarbeiten keinen Bioabfall mehr (3 NawaRo-Anlagen; 1 Holzfeuerung; 1 k. A.); die restlichen Anlagen verarbeiten Bioabfall aus der Biotonne (n=11) bzw. Speiseabfälle und Fettabscheiderabfälle (n=2).
- * Die drei NawaRo – Anlagen haben vormals Bioabfälle verarbeitet, haben diese jedoch zwischenzeitlich durch landwirtschaftliche Produkte (Mais, Roggen GPS, Sudangras) ersetzt; die Angaben dieser Anlagen werden in den weiteren Betrachtungen nicht berücksichtigt
- * Nur eine Anlage wird auch weiterhin neben NawaRo-Materialien Bioabfälle in Form von Speiseresten verarbeiten.
- * Die Bioabfallbehandlungsanlagen (Biotonne) decken einen Einzugsbereich von ca. 2,87 Mio. Einwohner ab (n=10); der mittlere Durchsatz der betrachteten Bioabfall-Behandlungsanlagen (Biotonne) liegt bei ca. 20.000 Mg/a (n=11); 2 der Bioabfallanlagen nehmen neben dem Biotonnen-Material auch gewerbliche Co-Substrate an.
- * Insgesamt werden in den Bioabfallhandlungsanlagen folgende Substrate eingesetzt (Tabelle 6-9):

⁶⁴ Basis: Datenbank IE; Liste BGK e.V.; je eine Aktion im Mai und im Juni 2005

⁶⁵ Die Angaben beziehen sich auf die genannten Werte und Informationen; fehlende Informationen wurden nicht hochgerechnet.

Tabelle 6-9: Substrate der Bioabfallbehandlungsanlagen

| Substrat | [Mg/a] | Häufigkeit |
|--|---------|------------|
| Bioabfall (Biotonne) | 199.500 | n=11 |
| Fettabscheiderinhalt | 10.000 | n=2 |
| Material aus Garten- und Landschaftspflege | 16.000 | n=3 |
| Gewerbe-/Produktions-/Speiseabfälle | 16.500 | n=4 |
| Gesamt | 242.000 | |

- * Eine Anlage wird als Co-Vergärungsanlage mit Klärschlamm betrieben (für die flüssige Phase der Bioabfälle).
- * Im Einzugsbereich einer Anlage werden derzeit noch 12.000 Mg/a Bioabfall kompostiert; es ist geplant diese Menge zukünftig ebenfalls mittels einer Trockenfermentation zu behandeln.
- * Die Erlöse für die angenommenen Bioabfälle (Material aus der Biotonne) schwanken zwischen 60 und 115 €/Mg (n=2); weitere Erlöse werden erzielt mit Material aus Fettabscheidern (15 €/Mg; n=1) und Speiseresten (5 bis 30 €/Mg; n=2).
- * Der Anschlussgrad an die Biotonne liegt im Mittel bei 80 % (n=10; Schwankungsbereich 30 bis 100 %); die zukünftige Entwicklung wird unterschiedlich eingeschätzt (Stagnation, Reduktion, Erhöhung; jeweils n=1).
- * Die Frage, ob das EEG Kosten dämpfend wirkt, beantworteten bei den Bioabfallbehandlungsanlagen 5 Betreiber mit ja und 3 Betreiber mit nein (1 Betreiber verfügt über einen Gasverwertungsvertrag mit einer benachbarten Kläranlage und unterliegt nicht dem EEG). Der Einfluss der EEG – Vergütung auf die Wirtschaftlichkeit wird dabei von 2 Betreibern mit „hoch“, von 3 Betreibern mit „mittel“ und von 4 Betreibern mit „gering“ bewertet.
- * Vier Bioabfallbehandlungsanlagen erhielten eine Investitions-Förderung (Bund, Landesumweltministerium, KfW), 6 Anlagen wurden nicht gefördert.
- * An Anlagentechniken sind im Bereich der Bioabfallbehandlung folgende Varianten vertreten: nass, einstufig (n=5), nass, zweistufig (n=3), trocken (n=5); die nachfolgend genannten technischen und wirtschaftlich Kennziffern decken somit die mögliche Varianz technischer Konzepte ab.
- * Im Hinblick auf die Energieerzeugung lassen sich bei den Anlagen zur Bioabfallbehandlung folgende Zusammenhänge darstellen (Tabelle 6-10):

Tabelle 6-10: Energieerzeugung

| Betrachtungsansatz | Einheit | Mittelwert | Häufigkeit |
|--|-------------------------|--------------------------|------------|
| Installierte elektrische Leistung | [kW _{el}] | 655 (400 – 1.672) | n = 10 |
| Installierte elektrische Leistung pro Tonne Input | [kW _{el} /Mg] | 0,039 (0,017 – 0,080) | n = 10 |
| Stromerzeugung pro Tonne Input | [kWh _{el} /Mg] | 161,2 (69,2 – 261,5) | n = 8 |
| Anteil Eigenstromverbrauch an der Stromproduktion | [%] | 39,4 (10,0 – 78,0) | n = 10 |
| BHKW nur Gasmotor | | | n = 9 |
| BHKW Zündstrahl- und Gasmotor | | | n = 2 |
| BHKW nur Zündstrahlmotor | | | n = 0 |
| Volljahresstunden BHKW | [h] | 6.600 (5.500 – 8.400) | n = 7 |
| Wärmenutzung BHKW Gebäudeheizung | | | n = 7 |
| Wärmenutzung BHKW Prozesswärme / Fernheizung / Trocknung / Gewächshäuser | | | n = 4 |
| Wärmenutzungsausbau seit Novelle EEG | | | n = 4 |
| Anteil der genutzten Wärme | [%] | 31 | n = 3 |

- * Die Nutzung der Gärreste erfolgt in den betrachteten Anlagen wie folgt (Tabelle 6-11):

Tabelle 6-11: Gärrestnutzung

| Nutzungsform / zukünftige Einschätzung | Häufigkeit |
|--|--------------------|
| Thermische Verwertung | n = 1 ^a |
| Direkte landwirtschaftliche Verwertung | n = 3 |
| Entwässerung / Nachkompostierung | n = 10 |
| Verwertung Flüssigdünger (Press-/Überschusswasser) | n = 3 |
| Verwertung zukünftig unproblematisch | n = 7 |
| Verwertung zukünftig problematisch | n = 3 |

^a hier: Co-Vergärung mit Klärschlamm

- * Hinsichtlich der Erlössituation beim Gärrest wurde je nach Aufbereitungsqualität eine Spanne von 15 €/Mg Erlöse (Fertigprodukt) bis 5 €/Mg Zuzahlung (ohne Nachbehandlung) genannt (n=3).
- * Bezüglich wünschenswerter Änderungen im Bereich der gesetzlichen Regelungen wurden seitens der Betreiber folgende Punkte angebracht (Zitate): (i) Verfügbarkeit einer Stoffliste für strittige Substrate, (ii) Probleme bei standortgleicher Verwertung unterschiedlicher Biomassen, (iii) aufgrund EEG werden heute viele Stoffe thermisch anstatt stofflich verwertet, zukünftig deshalb Mangel an Humus, (iv) Dumping-Konkurrenz aus Ostdeutschland (Kontrolle), (v) stärkere Förderung der Gaseinspeisung ins Erdgasnetz, (vi) Die Mitverarbeitung von Kategorie 3-Material sollte mit BiomasseV in Einklang gebracht werden.

6.3.8 Stromerzeugung aus Bioabfall

Werden die über die Befragungsaktion erzielten Auskünfte auf die Situation in Deutschland übertragen, lassen sich bezüglich der Energieerzeugung im Bereich der Bioabfallbehandlung folgende Sachverhalte darstellen:

- * Bei insgesamt 42 ausgewiesenen Biogasanlagen für kommunalen Bioabfall ist aktuell bei einer mittleren Leistung pro Anlage von 655 kW_{el} von einer installierten elektrischen Leistung von ca. 27,5 MW_{el} auszugehen. Werden die den Vergärungsanlagen zugeführten Bioabfallmengen der Betrachtung zugrunde gelegt, ergibt sich auf der Basis der Daten des StBA (2005) für das Jahr 2002 bei einer behandelten Abfallmenge von ca. 418.400 Mg (siehe Tabelle 6-8) und einer mittleren Leistung von 0,039 kW_{el}/Mg_{Input} eine installierte elektrische Leistung in Deutschland von ca. 16,3 MW_{el}. Die Differenz zum vorgenannten Ansatz ergibt sich aus der Tatsache, dass die betrachteten Bioabfallbehandlungsanlagen neben dem Material aus der Biotonne auch noch andere Substrate einsetzen.
- * Die Stromerzeugung aus der Behandlung der kommunalen Bioabfälle lässt sich unter Berücksichtigung unterschiedlicher Betrachtungsansätze wie folgt herleiten (Tabelle 6-12). Auf der Grundlage dieser Herleitungen kann der anaeroben Verarbeitung von Bioabfällen derzeit eine Stromproduktion von ca. 70 bis 110 GWh_{el}/a zugeordnet werden⁶⁶. Dies entspricht ca. 6 bis 9 % des technischen Gesamtpotenzials von ca. 1,3 Mio. MWh_{el}/a (ca. 7,9 Mio. Mg Bioabfall pro Jahr (ohne Grünschnitt); 161,2 kWh_{el}/Mg).

⁶⁶ Die Bioabfall verarbeitenden Anlagen produzieren unter Berücksichtigung zusätzlicher Substrate ca. 180.000 MWh_{el} pro Jahr.

Tabelle 6-12: Stromerzeugung aus der Behandlung der kommunalen Bioabfälle

| Betrachtungsansatz | [MWh _{el} /a] |
|--|------------------------|
| 418.400 Mg/a komm. Bioabfall; 161,2 kWh _{el} /Mg | ca. 67.500 |
| 418.400 Mg/a komm. Bioabfall; Gasertrag 90 Nm ³ /Mg Bioabfall; Heizwert Biogas 6,0 kWh/Nm ³ ; $\eta_{el} = 32 \%$ | ca. 72.300 |
| 418.400 Mg/a komm. Bioabfall; Gasertrag 120 Nm ³ /Mg Bioabfall; Heizwert Biogas 6,0 kWh/Nm ³ ; $\eta_{el} = 32 \%$ | ca. 96.400 |
| 16,3 MW _{el} installierte elektrische Leistung bei 6.600 Volljahresstunden BHKW | ca. 107.600 |
| 26,8 MW _{el} installierte elektrische Leistung bei 6.600 Volljahresstunden BHKW | ca. 176.900 |

6.4 Ökonomische Aspekte

6.4.1 Preissituation

Die getrennte Erfassung und Verwertung von Bioabfällen in Deutschland ist im Wesentlichen von der Wirtschaftlichkeit der Entsorgungspfade abhängig. Aufgrund der gemäß Tabelle 6-6 vorhandenen Relevanz werden diesbezüglich zunächst die ökonomischen Zusammenhänge bei den über das System Biotonne erfassten Mengenströme aufgezeigt. Eine bundesweit festzustellende Maxime im Rahmen der getrennten Erfassung und Behandlung von Bioabfällen beinhaltet dabei die Aussage, dass die Bioabfallverwertung ökonomisch insgesamt günstiger sein muss als die Restmüllbeseitigung. Als relevante Einflusskriterien auf die Kostenstrukturen sind in diesem Zusammenhang insbesondere folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- * Erfassungssystem (d. h. Gefäß, Fahrzeug, Personal, Verwaltung),
- * die Gebietsstruktur,
- * der Anschlussgrad an die Biotonne (geringe Teilnehmerquoten wirken in der Regel kostentreibend),
- * logistische Rahmenbedingungen (u. a. Leerungsintervall, Leistungsdaten, Entfernungen),
- * Behandlungskosten nach Behandlungsverfahren, Anlagengröße und -auslastung⁶⁷ (insbesondere in Relation zum Restabfall),
- * Vermarktungssituation für die gewonnen Produkte.

Eine aktuelle Untersuchung hat – unter Berücksichtigung der obigen Faktoren – das INFA-Institut durchgeführt⁶⁸ /135/. Hier wurde im Rahmen von zwei definierten Szenarien⁶⁹ die

⁶⁷ z. B. Auswirkung der Bioabfall – Erfassung auf die Auslastung der Anlagen zur Restabfall – Beseitigung unter Berücksichtigung der potenziell hohen Fixkostenanteile

⁶⁸ Anmerkung: die in der Studie angesetzten Bioabfallbehandlungskosten (dort 60 €/Mg; Kompostierung) wurden im Hinblick auf die tendenziell höheren Kosten bei Vergärungsanlagen auf 70 €/Mg erhöht.

⁶⁹ hier: Festlegung von Siedlungsstrukturen, Mengenaufkommen, Leerungsintervalle, Logistiksystem, etc.

gemeinsame Behandlung von Bioabfällen mit dem Restmüll in einer MVA/MBA der getrennten Erfassung und Behandlung gegenüber gestellt. Danach lassen sich folgende Ergebnisse darstellen (Tabelle 6-13).

Tabelle 6-13: Logistik- und Behandlungskosten der getrennten Rest- und Bioabfallerfassung gegenüber einer ausschließlichen Hausmüllererfassung in unterschiedlichen Entsorgungsgebieten (INFA, 2004; teilw. verändert)

| | „ländliches Entsorgungsgebiet“ ^a | | „städtisches Entsorgungsgebiet“ ^b | |
|--------------------------------|---|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
| | Hausmüll nicht getrennt [€/Mg] | Biotonne und Restabfall [€/Mg] | Hausmüll nicht getrennt [€/Mg] | Biotonne und Restabfall [€/Mg] |
| Logistikaufwand | 43 | 46 | 66 | 72 |
| Behandlungskosten ^c | 125 | 101 | 125 | 115 |
| Gesamtkosten | 168 | 147 | 191 | 187 |

^a Mengenansätze: RM 130 kg/E*a; BA 100 kg/E*a; HM 220 kg/E*a; Leerungsintervall: RM 14d (anteilig 4 Wochen); BA 14d; HM 7d (anteilig 14d); Anschluss- und Benutzungszwang; Heck- bzw. Seitenlader; Personal 1,5 (Fahrer + Lader)

^b Mengenansätze: RM 225 kg/E*a; BA 50 kg/E*a; HM 270 kg/E*a; Leerungsintervall: RM 14d (anteilig 4 Wochen); BA 14d; HM 7d (anteilig mehrfach/wo und 14d); Anschluss- und Benutzungszwang; Heck- bzw. Seitenlader; Vollservice; Personal 4 (Fahrer und Lader)

^c Behandlungskosten: Restabfall 125 €/Mg; Bioabfall 70 €/Mg (verändert!)

Abkürzungen: RM = Restmüll; BA = Bioabfall; HM = Hausmüll (RM inkl. BA)

Der logistische Aufwand ist bei einer getrennten Erfassung, bedingt durch die größeren Erfassungsmengen sowie die zusätzlichen Logistik – Komponenten (z. B. Behälter) tendenziell leicht höher⁷⁰. Hinsichtlich der ökonomischen Rechtfertigung einer getrennten Verwertung von Bioabfällen, ist jedoch gemäß der obigen Herleitung insbesondere die Differenz der Behandlungskosten für Restabfall und Bioabfall relevant. Um Kostenvorteile zu erlangen, sollte die biologische Behandlung – ohne Berücksichtigung möglicher Optimierungspotenziale (z. B. im Bereich der Logistik) – nach INFA (2004) je nach Siedlungsstruktur mindestens 20 €/Mg (bei rein städtischen Strukturen 55 bis 60 €/Mg) günstiger sein als die Restabfallbehandlung.

Eine relativ aktuelle Bestandsaufnahme der Kosten liefert – für den Bereich kreisfreier Städte – eine Untersuchung des Witzenhausen-Institutes⁷¹ /136/. Darin werden im Rahmen einer Befragung u. a. folgende Rest- und Bioabfallentsorgungskosten festgestellt (Tabelle 6-14).

⁷⁰ abhängig von der optimalen Umsetzung der logistischen Voraussetzungen und den erzielten Abschöpfquoten (Bioabfallmenge im Verhältnis zur Rest- und Bioabfallmenge)

⁷¹ Befragung bei den 113 kreisfreien Städten in Deutschland sowie den Stadtstaaten Berlin, Hamburg, Bremen / Bremerhaven; Rücklauf 66 % = ca. 25 % der Gesamtbevölkerung in Deutschland

Tabelle 6-14: Spezifische Entsorgungskosten für Restmüll und Bioabfall im kreisfreien Städten /136/

| Angaben der befragten Städte ^a [%] | Spezifische Entsorgungskosten in [€/Mg] in kreisfreien Städten | | | | | |
|---|--|------------|-------------|---------------------------|-------------|-------|
| | < 50 | 51 bis 100 | 101 bis 150 | 151 bis 200 | 201 bis 250 | > 250 |
| Restabfall | 4 % | 33 % | 21 % | 21 % | 11 % | 9 % |
| Deponie | 8 % | 72 % | 12 % | 8 % | 0 % | 0 % |
| MVA/MHKW | 3 % | 8 % | 23 % | 33 % | 18 % | 15 % |
| Bioabfall | 21 % | 37 % | 26 % | 16 % (Abfrage > 150 €/Mg) | | |
| Kompostierung | 26 % | 33 % | 26 % | 15 % | | |
| Vergärung | 6 % | 50 % | 25 % | 19 % | | |

^a n = 62 – 70; 2 ca. ¾ der befragten Städte betreiben eine Kompostierung, die restlichen eine Vergärung

Aus der obigen Darstellung lassen sich folgende, grobe Gesamttrends ableiten:

- * Die getrennte Bioabfallbehandlung ist tendenziell günstiger als die Restabfallbehandlung.
- * Die Kompostierung ist tendenziell günstiger als die Vergärung.

Restabfallbehandlungskosten < 100 €/Mg sind dabei hauptsächlich durch Deponierung begründet. Hier werden sich nach Umsetzung der TASI/AbfAbIV, wie bereits jetzt ersichtlich, Verschiebungen im Sinne von Kostenerhöhungen einstellen (Zeitpunkt der Befragung: 2003). Die in der obigen Untersuchung u. a. festgestellten höheren Gesamtentsorgungskosten bei Städten mit Biotonne sind in diesem Zusammenhang zu relativieren, da „billige“ Restmüllentsorgungsmöglichkeiten zukünftig wegfallen.

Hinsichtlich der unterschiedlichen Entsorgungskosten bei den Verfahren zur Kompostierung und Vergärung ist im Zusammenhang mit der Diskussion über die Umsetzung der neuen TA Luft u. a. auf große Unterschiede in der Genehmigung von Kompostierungsanlagen hinzuweisen. So sind in den alten Ländern 54 % der Anlagen für gemischte Bioabfälle gekapselt ausgeführt, in den neuen Ländern dagegen nur 23 % /132/. Entsprechend haben gemäß den der Tabelle 6-14 zugrunde liegenden Herleitungen 45 % der Städte in den neuen und nur 22 % der Städte in den alten Bundesländern sehr günstige Kompostierungspreise (< 50 €/Mg) zu zahlen. Bei vergleichbaren Standards ist von einer weiteren Annäherung der Kosten auszugehen.

Bei einigen Kompostierungsanlagen führen derzeit Geruchsprobleme zu einem erhöhten Aufwand im Bereich der Kapselung der Anlagentechnik, welche teilweise durch die Integration einer Vergärungsstufe gelöst werden. Hier zeigen realisierte Anlagen, dass dies nicht zwangsweise mit einer Kostenerhöhung einhergehen muss. /137/ weist hier z. B. aus, dass durch die Integration einer Vergärungsstufe (unter Berücksichtigung der EEG-Vergütungssätze) die bisherigen Bioabfallbehandlungskosten (ohne Vergärung) von ca. 76 €/Mg auf < 70 €/Mg reduziert werden können.

Grünabfälle (Grünschnitt; Garten-/Parkabfälle) werden größtenteils im Bringsystem (Abgabe an Grünschnittkompostierungsanlagen, bzw. Grünschnittcontainern/-abgabestellen) erfasst. Teilweise sind auch Holsysteme installiert, über die gebündelter Grünschnitt an der Anfallstelle mittels Fahrzeugen gesammelt wird. Hinsichtlich der dabei zu unterstellenden Verwertungskosten (ohne Erfassungskosten) ist gemäß einer Untersuchung für Hessen /138/ von einer Spanne von ca. 40 bis 65 €/Mg auszugehen.

6.4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Biogaserzeugung aus Bioabfällen ist im Vergleich zur Kompostierungstechnologie gemäß allgemeiner Einschätzungen⁷² sowie durchgeführter Preisvergleiche (siehe z. B. Tabelle 6-14) trotz zusätzlicher EEG-Vergütungen bislang tendenziell kostenintensiver. Erschwerend kommt hinzu, dass öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger aufgrund des vorhandenen Kostendruckes verstärkt dazu neigen, eigene Stoffströme hin zu Billiganlagen mit niedrigen technischen Standards zu verlagern⁷³. Die Umsetzung der neuen TA Luft wird diesbezüglich – gemäß den festgestellten Einschätzungen – auch nur eingeschränkt zu einer Veränderung der bisherigen Praxis führen.

Zur Abschätzung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden nachfolgend Kostenrechnungen für drei Biogas-Modellanlagen unterschiedlicher Leistungsbereiche durchgeführt. Die jeweils zugrunde gelegten Daten resultieren dabei aus der durchgeführten Fragebogenaktion, einer Literaturrecherche sowie den Ergebnissen aus Interviews z. B. bei Anlagenbetreibern. Aufgrund der Datenlage wird hierbei nicht zwischen Trocken- und Nassvergärungsanlagen differenziert. Die betrachteten Leistungsklassen beziehen sich – da Bioabfallbehandlungsanlagen i. d. R. mengenabhängig interpretiert werden – gemäß den Herleitungen aus Abbildung 6-4 auf Durchsätze von 10.000 Mg/a, 20.000 Mg/a und 40.000 Mg/a.

Investitionen

Hinsichtlich der für die Errichtung einer anaeroben Bioabfallbehandlungsanlage erforderlichen Investitionen wurden die Angaben aus der Befragungsaktion sowie Literaturdaten (BGK e. V.) ausgewertet. Danach ergibt sich in Abhängigkeit des Anlagendurchsatzes folgende Situation (Abbildung 6-11).

⁷² Basis: Interviews mit Vertretern der BGK e.V., des BDE sowie des VKS/VKU

⁷³ Auch die Lkw-Maut kann entsprechende Stoffstromverlagerungen kaum verhindern, da der Preisunterschied bei den Billiganlagen selbst inkl. Transport bei bis zu 50 % liegt (entspr. ca. 40 €/Mg). Derzeit werden dabei Transportentfernungen von bis zu 400 bis 500 km in Kauf genommen.

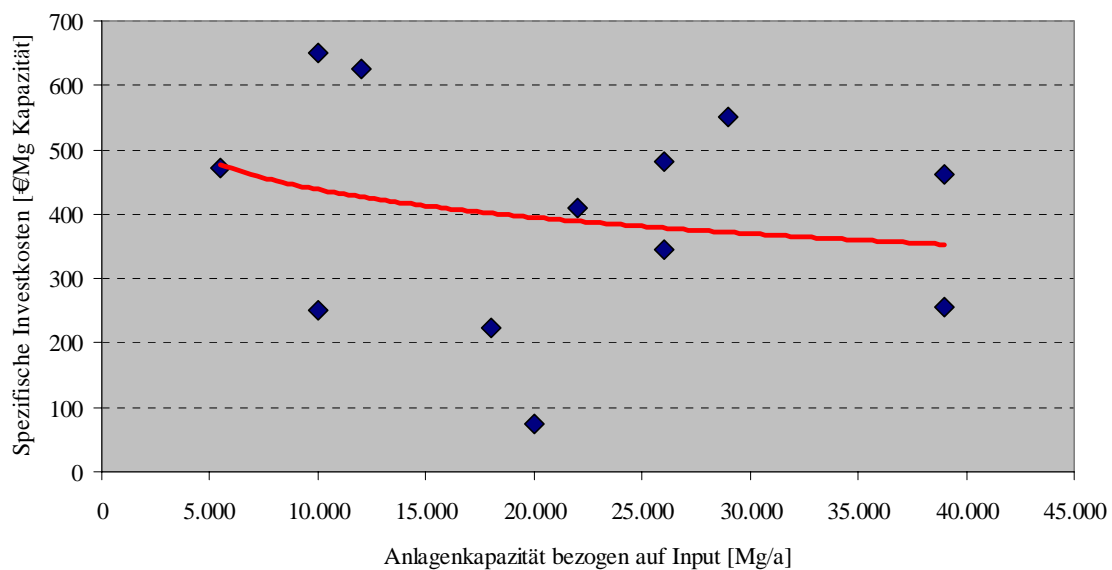


Abbildung 6-11: Spezifische Investitionen bei Bioabfall-Vergärungsanlagen in Abhängigkeit vom Durchsatz (Vergleich spez. Invest Vergärungsanlagen; Datenbasis: FB & BGK Anlagen; bereinigt)

Im Rahmen der Datenauswertung wurde – soweit möglich – versucht, erkennbare Besonderheiten der einzelnen Anlagen zu berücksichtigen. So wurden z. B. die Daten einer Co – Vergärungsanlage mit Klärschlamm in die obige Darstellung nicht mit aufgenommen. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass die aufgeführten Anlagen z. B. im Bereich der aeroben Gärrestnachbehandlung deutliche Unterschiede aufweisen. Daher wurde die Plausibilität der oben dargestellten Trendlinie sowie die Aufteilung der Investitionen in die Kostenbereiche BHKW, Anlagenteil und Bauteil über ein Betreiberinterview zusätzlich nochmals festgestellt.

Auf der Grundlage der obigen Trendlinie lassen sich danach die Kostenansätze sowie die nachfolgend angesetzten Abschreibungszeiträume wie folgt darstellen (Tabelle 6-15).

Tabelle 6-15: Investitionen nach unterschiedlichen Leistungsklassen (bezogen auf Input)

| Anlagengröße (Menge Input) [Mg/a] | 10.000 | 20.000 | 40.000 |
|--|-----------|-----------|------------|
| Anlagengröße BHKW ^a [kW _{el}] | 390 | 780 | 1.560 |
| Spezifische Investition [€kW _{el}] | 440 | 395 | 350 |
| Spezifische Investition [€/Mg] | 11.280 | 10.130 | 8.950 |
| Gesamtinvestition [€] | 4.400.000 | 7.900.000 | 14.000.000 |
| davon BHKW ^b | 310.050 | 491.400 | 780.000 |
| ohne BHKW | 4.089.950 | 7.408.600 | 13.220.000 |
| davon technische Ausrüstung ^c 62 % | 2.535.769 | 4.593.332 | 8.196.400 |
| davon Bauteile ^d 38 % | 1.554.181 | 2.815.268 | 5.023.600 |

^a mittlere installierte el. Leistung gemäß Fragebogen: 0,039 kW_{el}/Mg

^b Basis: je 2 BHKW gemäß ASUE – BHKW-Kenndaten, Biogas (2005), Abschreibung 7 a

^c 10 a Abschreibung

^d 20 a Abschreibung

Eine belastbare Aussage zur zeitlichen Entwicklung der Investitionskosten lässt sich auf der Grundlage der vorhandenen Daten nicht ableiten. Auf der Basis der geführten Gespräche mit Anlagenbetreibern und Verbänden kann jedoch unterstellt werden, dass die anaeroben Behandlungskosten aufgrund der besseren Erfahrungswerte in den letzten Jahren rückläufig waren und derzeit – auch im Hinblick auf die Entwicklung der Rohstoffpreise (insbes. Stahl) sowie der Anforderungen der neuen TA Luft – stagnieren.

Im Bereich der BHKW-Technik kommen gemäß den durchgeführten Befragungen und Interviews fast ausschließlich Gas-Ottomotoren zur Anwendung.

Stromgestehungskosten

Die Berechnung der realen Stromgestehungskosten im Bereich der Bioabfallbehandlung erfolgt auf der Grundlage der nachfolgend dargestellten Ansätze:

- * Der Kapitaldienst der oben festgestellten Investitionen wird mit der Annuitätenmethode berechnet. In der Regel erfolgt eine 100 %-ige Finanzierung über Fremdkapital. Der angesetzte Zinssatz liegt bei 6 %. Investitionsförderungen kommen in der Regel nicht zum Tragen.
- * Die erzielbare Biogasausbeute wird auf der Basis von Literaturangaben mit $110 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{FS}}$ ($6,0 \text{ kWh/m}^3$) angesetzt. Die spezifisch erzielbare Stromproduktion liegt damit unter Berücksichtigung der angesetzten Wirkungsgrade (35 bis 37%) mit 231 bis 244 kWh/Mg höher, als der im Rahmen der Befragungsaktion festgestellte Mittelwert ($161,2 \text{ kWh/Mg}$), jedoch noch im ermittelten Schwankungsbereich. Werden die ermittelten mittleren Volllastjahresstunden (ca. 6.600 h/a) sowie die mittlere spezifische Anschlussleistung ($0,039 \text{ kWel/Mg}$) zugrunde gelegt, kann von einer spezifischen Stromproduktion von ca. 257 kWh/Mg ausgegangen werden.
- * Die Wärmenutzung spielt derzeit im Bereich der Bioabfallvergärungsanlagen noch eine untergeordnete Rolle, kann jedoch zukünftig zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit führen. Im Hinblick auf die Wärmevergütung wird daher eine Variante mit und eine Variante ohne Wärmeerlöse betrachtet. Bei der Herleitung der Wärmeerlöse wird dabei davon ausgegangen, dass bei einem thermischen Wirkungsgrad von ca. 50 %, 35 % der erzeugten Wärme zu einem Preis von 25 €/MWh verkauft wird.
- * Der Personalaufwand wird auf der Grundlage der durchgeführten Recherchen wie folgt festgelegt (Tabelle 6-16).

Tabelle 6-16: Personalkosten

| Funktion | Vergütung | 10.000 Mg/a | 20.000 Mg/a | 40.000 Mg/a |
|----------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Werkleiter | 50.000 €a | 1 | 1 | 1 |
| Verwaltung | 40.000 €a | 0,5 | 1 | 1 |
| Elektriker/Schlosser | 45.000 €a | 2 | 3 | 6 |
| Hilfskräfte | 35.000 €a | 3 | 4 | 6 |
| Gesamt | | 6,5 | 9 | 14 |

- * Der Verbrauch an sonstigen Betriebsmitteln wird auf der Grundlage einer Praxisanlage mit 2,5 % vom Invest pauschal festgelegt. In dieser Position sind u.a. Stromverbrauch, Frischwasser, Dieselkraftstoff, Schmierstoffe und Biofiltermaterial beinhaltet.
- * Die Notwendigkeit zur Entsorgung von Abwasser kann je nach Situation sehr hohe Kosten nach sich ziehen. Ist eine Verwertung als Flüssigdünger möglich, können Kosten in einer Größenordnung von ca. 5 €/m³ anfallen. Wenn das Abwasser in einer eigenen Anlage aufbereitet werden, bzw. in eine öffentliche Kanalisation eingeleitet werden muss, ist von Kosten in einer Größenordnung von ca. 15 €/m³ auszugehen. Im Rahmen der Kostenermittlung wird von einer Mischkalkulation von 10 €/m³ ausgegangen. Je nach Anlagendurchsatz wird dabei eine Abwassermenge von ca. 3.500 bis 14.000 m³/a unterstellt.
- * Im Rahmen der Bioabfallaufbereitung fallen Störstoffe an, welche ausgeschleust und beseitigt werden müssen. Bei einem abgesonderten Störstoffanteil bezogen auf den Input von ca. 7 %, ist von Beseitigungskosten (MVA, MBA) in einer Größenordnung von ca. 130 €/Mg auszugehen.
- * Zusätzlich sind Siebreste, z. B. aus der Aufbereitung der Gärrestprodukte in Form von holzartigen Stoffströmen zu entsorgen. Bezogen auf den Input wird diesbezüglich von einem Mengenanteil von 10 % ausgegangen. Als Entsorgungspreis (z. B. Brennstoffaufbereitung, Holzfeuerung) wird auf der Grundlage praktischer Erfahrungswerte von ca. 30 €/Mg ausgegangen.
- * Hinsichtlich der erzielbaren Erlöse sind neben den Stromeinspeisevergütungen insbesondere die gebührenfinanzierten Einnahmen aus der Annahme der Bioabfälle zu bilanzieren. Hier wird als Referenzwert für eine Anlage mit einem angemessenen technischen Standard im Sinne einer Konkurrenztechnik ein möglicher Kompostierungspreis von 60 €/Mg gegenübergestellt. Dies entspricht gleichzeitig dem in der INFA-Studie /135/ gewählten Ansatz⁷⁴. Für Komposterlöse wird ein Betrag von 0 €/Mg zugrunde gelegt. Dieser Wert resultiert im Sinne einer Mischkalkulation aus der Erfahrung, dass einerseits eine Kosten verursachende Abgabe von Kompost z. B. im Bereich der Landwirtschaft erfolgt, andererseits jedoch auch Erlöse z. B. über den Verkauf von Sackware/Erdenprodukte erzielt werden können.

⁷⁴ Dort wird im Rahmen der durchgeführten „Kostenbetrachtungen für die separate Bioabfallsammlung und –behandlung“ bei einer unterstellten Spanne von 50 bis 70 €/Mg ebenfalls ein Marktpreis von 60 €/Mg angesetzt.

Auf der Grundlage der obigen Festlegungen lassen sich nunmehr folgende Aussagen zur Wirtschaftlichkeit darstellen (Tabelle 6-17).

Tabelle 6-17: *Kostenansätze und Randbedingungen für die Modellanlagen zur Stromerzeugung aus Bioabfällen zur Berechnung der Stromgestehungskosten*

| | Einheit | Anlagengröße | | | Bemerkungen |
|--|------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|---|
| | [Mg/a] | 10.000 | 20.000 | 40.000 | |
| | [kW _{el}] | 390 | 780 | 1.560 | |
| Kosten | | | | | |
| Kapitaldienst | [€a] | 535.572 | 957.562 | 1.691.333 | Abschreibungen: 7a, 10a, 20a; Zinssatz 6 % |
| Instandhaltung | [€a] | 154.000 | 276.500 | 490.000 | 3,5 % vom Invest |
| Verwaltung, Versicherung, Pacht | [€a] | 44.000 | 79.000 | 140.000 | 1,0 % vom Invest |
| sonstige Betriebsmittel | [€a] | 110.000 | 197.500 | 350.000 | 2,5 % vom Invest |
| Personalkosten | [€a] | 265.000 | 365.000 | 570.000 | 6,5 – 14 Personen |
| Abwasserentsorgung | [€a] | 35.000 | 70.000 | 140.000 | 3.500 – 14.000 m ³ ; 10 €/m ³ |
| Störstoffentsorgung | [€a] | 91.000 | 182.000 | 364.000 | 7 % vom Input; 130 €/Mg |
| Siebrestantentsorgung | [€a] | 30.000 | 60.000 | 120.000 | 10 % vom Input; 30 €/Mg |
| Summe | [€a] | 1.264.572 | 2.187.562 | 3.865.333 | |
| Erlöse | | | | | |
| Bioabfall | [€a] | 600.000 | 1.200.000 | 2.400.000 | Referenzpreis Kompostierung: 60 €/Mg |
| Wärmevergütung | [€a] | 0 – 28.875 | 0 – 57.750 | 0 – 115.500 | Wärmeabsatz 0 – 35 %; 25 €/MWh |
| Stromgestehungskosten | | | | | |
| Gesamtkosten | [€a] | 635.697 - 664.572 | 929.812 – 987.562 | 1.349.833 - 1.465.333 | Σ Kosten abzgl. Erlös |
| elektrischer Wirkungsgrad | [%] | 35 | 36 | 37 | |
| Stromproduktion | [kWh _{el} /a] | 2.310.000 | 4.752.000 | 9.768.000 | 110 m ³ Biogas/Mg FS; 6,0 kWh/m ³ |
| Stromgestehungskosten, real <u>ohne</u> Wärmenutzung | [€/kWh] | 28,7 | 20,8 | 15,0 | |
| Stromgestehungskosten, real <u>mit</u> Wärmenutzung | [€/kWh] | 27,5 | 19,6 | 13,8 | |

In der nachfolgenden Abbildung sind die oben ermittelten Stromgestehungskosten für die Stromerzeugung aus Bioabfällen über eine Vergärungsanlage den erzielbaren Einspeisevergütungen (Bezug: 2006) unter Berücksichtigung der möglichen Innovations- und KWK-Boni (Wärmenutzungsanteil 35 %) gegenüber gestellt. Grundsätzlich zeigt sich eine Degression der Stromgestehungskosten, welche insbesondere in der erforderlichen

Aufbereitungstechnik für Bioabfälle und Gärückstände sowie im spezifischen Personalbedarf ihren Ursprung hat.

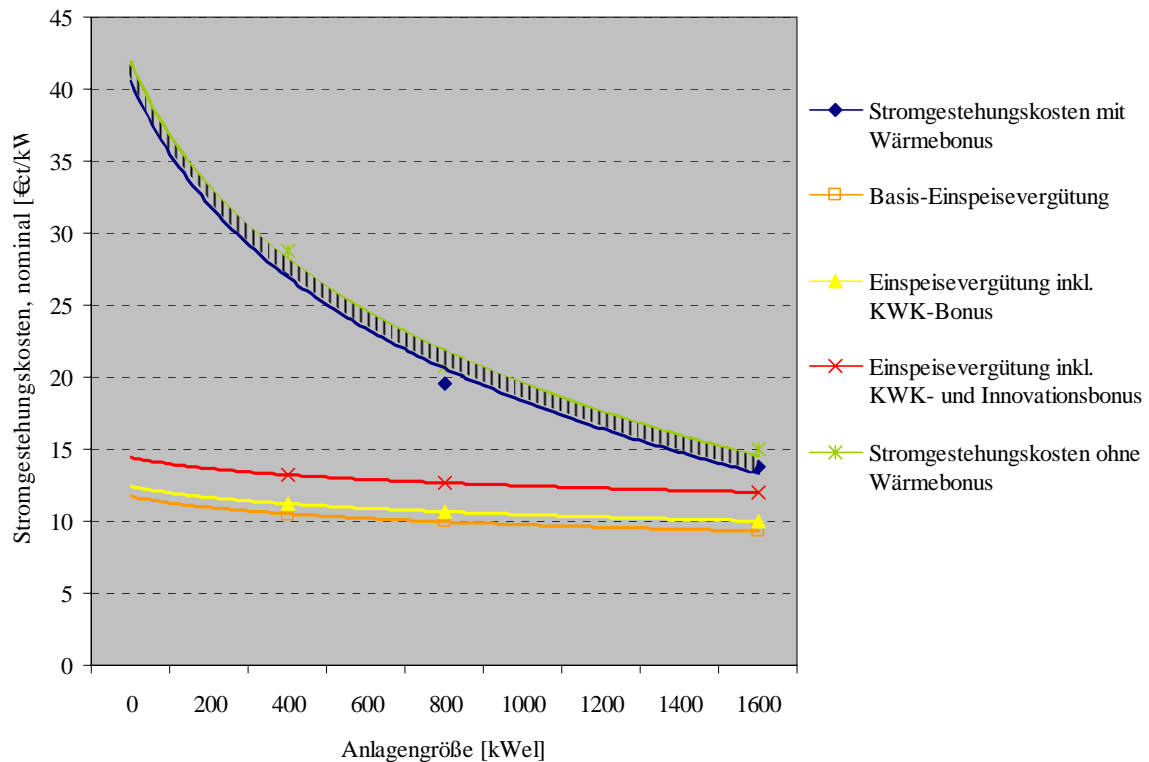


Abbildung 6-12: Reale Stromgestehungskosten und Vergütungen in Abhängigkeit von der Anlagengröße (Vergütungsbasis: 2006, Bioabfallerlös: 60 €/Mg)

Die obige Abbildung verdeutlicht, dass Bioabfallvergärungsanlagen derzeit trotz EEG unter Berücksichtigung der hier getroffenen Annahmen gegen einen Kompostierungspreis von 60 €/Mg nicht konkurrieren können. Werden die obigen Abhängigkeiten zugrunde gelegt, müsste die 10.000 Mg/a-Anlage je nach Technik und Umsetzung der Wärmenutzung einen Annahmepreis von ca. 93 bis 102 €/Mg veranschlagen und die 20.000 Mg/a-Anlage läge im Bereich von 76 bis 86 €/Mg. Die große Anlage mit einer Durchsatzkapazität von 40.000 Mg/a benötigt ohne Innovationsbonus und Wärmenutzung einen Annahmepreis von ca. 74 €/Mg. Bei Nutzung innovativer Technik und Wärmenutzung kommt die Anlage mit ca. 65 €/Mg in den, auch von /135/ genannten Schwankungsbereich für Kompostierungsanlagen von 50 bis 70 €/Mg.

Inwieweit sich verschiedene Parameter auf die Stromgestehungskosten auswirken, wird nachfolgend anhand einer Anlage mit einem Durchsatz von 20.000 Mg/a aufgezeigt. Diese Größenordnung deckt z. B. im Hinblick auf mögliche Umrüstungen von Kompostierungsanlagen gemäß Abbildung 6-5 einen interessanten Bereich ab.

Der 0-Wert der 20.000 Mg-Anlage repräsentiert die Anlagenkonfiguration gemäß Tabelle 6-17 inkl. Wärmenutzung.

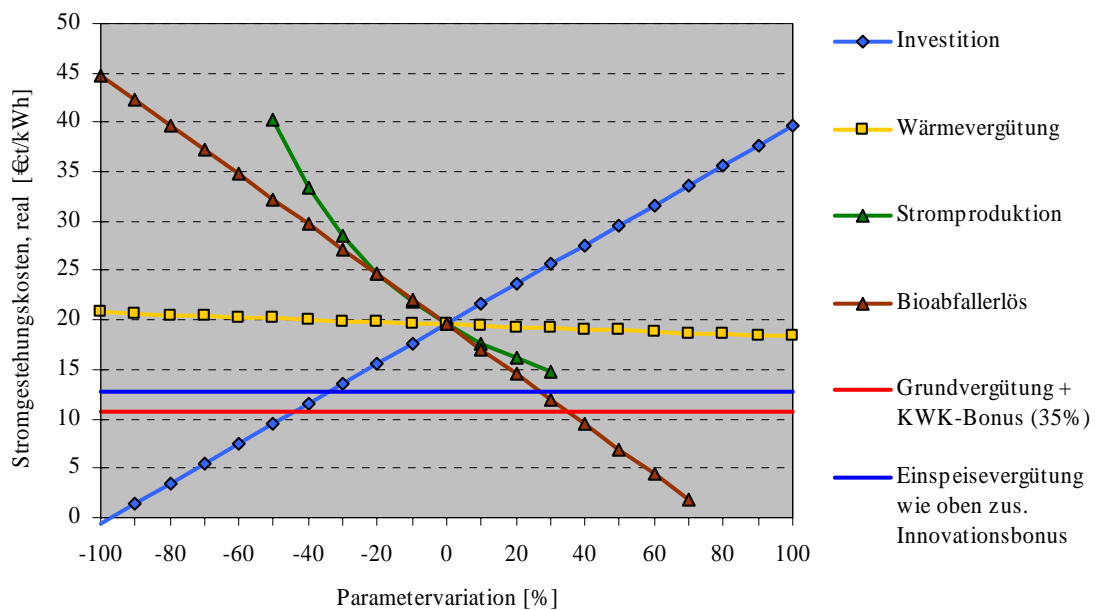


Abbildung 6-13: Sensitivitätsanalyse für 780 kW_{el}-Biogasanlage (Basis: inkl. Wärmenutzung; Bioabfallerlös: 60 €/Mg)

Einen großen Einfluss üben gemäß Abbildung 6-13 die Parameter Investition und Bioabfallerlös aus. Auch eine mögliche Steigerung der Stromproduktion (z. B. durch eine höhere Gasausbeute) kann deutlich zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beitragen. Die Wärmenutzung war bislang im Bereich von Bioabfallvergärungsanlagen aufgrund der entsorgungsorientierten Ausrichtung eher von untergeordneter Bedeutung, kann jedoch wie oben ersichtlich, in einem bestimmten Umfang ebenfalls zu einer Erhöhung der Wirtschaftlichkeit führen. Der mögliche Einfluss ist dabei jedoch aufgrund der „investitionslastigeren“ Rahmenbedingungen niedriger als bei landwirtschaftlichen Anlagen. Entsprechend reifen derzeit in einem verstärkten Umfang Konzepte, bei denen neben den klassischen Nahwärmesystemen im Sinne weiter gehender Synergien u. a. auch Verfahren zur (Holz-/Klärschlamm-)Trocknung sowie zur Ab-, bzw. Prozesswasseraufbereitung thematisiert werden.

6.5 Abschätzung zukünftiger Entwicklungen

Im Hinblick auf mögliche, zukünftige Veränderungen können im Wesentlichen folgende Sachverhalte thematisiert werden:

- * Stoffstromverlagerungen aufgrund der jeweiligen Rahmenbedingungen im Bereich der Restabfallbeseitigung sowie der erforderlichen Produktqualitäten für Kompost/Bodensubstrat,
- * Stoffstromverlagerungen durch die verstärkte Ausweisung von reinen NawaRo-Anlagen,

- * Stoffstromverlagerung von Kompostierungsanlagen hin zu Vergärungsanlagen,
- * Verarbeitung von Bioabfällen zu Brennstoffen für eine rein energetische Verwertung.

Die einzelnen Punkte werden nachfolgend im Sinne einer groben Abschätzung diskutiert. Grundlage für die jeweiligen Einschätzungen sind dabei neben einer durchgeführten Literaturrecherche, Interviews mit Experten aus dem Bereich BGK e. V., BDE, ANS e. V und VKS/VKU sowie die Statements aus dem Fachgespräch am 11./12. Oktober 2005 beim Umweltbundesamt.

Stoffstromverlagerungen aufgrund der jeweiligen Rahmenbedingungen im Bereich der Restabfallbeseitigung sowie der erforderlichen Produktqualitäten für Kompost/Bodensubstrat

Gemäß den Vorgaben der AbfAbIV und der TASi dürfen seit dem 01. Juni 2005 keine biologisch abbaubaren Abfälle mehr auf Deponien abgelagert werden. Dies hat zur Konsequenz, dass für das im Jahr 2005 zu erwartende Restsiedlungsabfallaufkommen von ca. 24,5 Mio. Mg Behandlungskapazitäten in einer ausreichenden Größenordnung vorgehalten werden müssen. Die diesbezüglich aktuell verfügbaren Kapazitäten dürften dafür gemäß den Berechnungen der LAGA – wie aus der nachfolgenden Tabelle ersichtlich ist – ausreichen. Problematisch ist jedoch die Abschätzung der zusätzlich anfallenden gewerblichen Abfälle, die bislang über den nur sehr schwer nachvollziehbaren Weg der so genannten „Scheinverwertung“ zu großen Teilen auf Billigdeponien abgekippt wurden. Werden diese potenziellen Mengen mit berücksichtigt, ist gemäß unterschiedlichen Quellen von einem Gesamtaufkommen in einer Größenordnung von ca. 28,5 bis 29,5 Mio. Mg auszugehen /139/.

Tabelle 6-18: Restabfall-Behandlungskapazitäten 2005, /140/

| | Verfügbare Kapazität [Mg/a] | Verfügbar und geplante Kapazitäten [Mg/a] |
|--------------------------------|--------------------------------|---|
| Gesamtkapazität MVA 2005 | 16.336.500 | 17.922.500 |
| Gesamtkapazität MBA 2005 | 6.221.000 | 7.122.000 |
| Gesamtkapazität Mitverbrennung | 2.298.000 | 3.528.000 |
| Σ Behandlungskapazität 2005 | 24.885.500 | 28.572.500 |

Ein Defizit an Behandlungskapazitäten, insbesondere im Bereich der Beseitigung der gewerblichen Abfälle kann somit nicht ausgeschlossen werden. Möglichkeiten hier gegen zu steuern liegen insbesondere in einer – gemäß Gewerbeabfallverordnung ohnehin geforderten - verstärkten Verwertung gewerblicher Abfälle, z. B. im Verbund mit einer Ausweitung der Mitverbrennungskapazitäten als Sekundärbrennstoff.

Zu beobachten ist auch, inwieweit die ausgewiesenen Kapazitäten der mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen für Restmüll auf der Grundlage der bisherigen Kostenansätze in der Lage sind, die Anforderungen der AbfAbIV bzw. der 30. BImSchV zu erfüllen. Gegebenenfalls werden hier kostenintensive Nachrüstungen erforderlich.

Eine derzeit bereits zu beobachtende Konsequenz der oben beschriebenen Situation ist in den steigenden Entsorgungspreisen für die Restabfallbeseitigung zu sehen. Daraus ergeben sich gegebenenfalls neue, wirtschaftlich begründete Spielräume hinsichtlich einer verstärkten Nutzung (kostengünstigerer) biologischer Verwertungsanlagen mit einem relativ stabilen Preis⁷⁵ je nach Verfahren von < 100 €/Mg. Das im Restabfall noch verfügbare Potenzial an Bioabfall, welches z. B. durch Öffentlichkeitsarbeit, Gebührenanreize etc. mobilisiert werden könnte, liegt dabei in einer Größenordnung von ca. 3,6 Mio. Mg/a.

Trotz dieser Situation ist beim Neubau von Anlagen zur biologischen Abfallbehandlung derzeit kaum Bewegung zu erkennen. Zum einen ist der Markt aufgrund der hohen Gesamtanschlussquote an das System Biotonne (> 70 % der Gebietskörperschaften) vergleichsweise gesättigt, zum anderen weisen die vorhandenen Behandlungsanlagen noch ausreichend Behandlungskapazität auf (siehe Kapitel 6.3.3).

Regional- bzw. landesspezifisch können sich bezüglich der obigen Zusammenhänge stark differierende Situationen einstellen. So weist die LAGA (2004) im Bereich der Restmüllbehandlung sowohl Bundesländer mit theoretischen Über- als auch mit deutlichen Unterkapazitäten aus. Daraus ergibt sich bundesweit eine stark heterogene Situation hinsichtlich des Handlungsbedarfes zur weitergehenden Abscheidung von biogenen Stoffströmen.

Eine weitere, abfallrechtlich bedingte Grundlage zur Einschätzung zukünftiger Stoffstromverteilungen bei biogenen Abfallstoffen bezieht sich auf die grundsätzliche Verwertbarkeit des erzeugten Produktes als Kompost. Hier hat das BMU/BMVEL-Konzept „Gute Qualität und sichere Erträge“ vom 03. Juni 2002 aufgrund der darin vorgesehenen Schadstoffgrenzwerte zu einer deutlichen Verunsicherung der Anlagenbetreiber und öffentlichen Entscheidungsträger geführt, inwieweit die Bioabfallverwertung zukünftig überhaupt noch praktikabel ist. Derzeit wird dieses Konzept gemäß einer Auskunft der BGK nicht weiter verfolgt, so dass hinsichtlich der Bioabfallverwertung weiterhin die (einhalten) Rahmenbedingungen der BioabfV zugrunde zu legen sind. Dennoch haben die damit verbundenen Diskussionen zu einer Veränderung geführt, indem die rückläufige landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen zu einer erhöhten Nachfrage nach Bioabfallkomposten geführt hat.

Fazit: unter Berücksichtigung von kosten- und kapazitätsbedingten Gesichtspunkten ist eine weiter gehende Verlagerung von Bioabfällen aus dem Restmüll in getrennte Verwertungsschienen darstellbar. Inwieweit dies aufgrund der verfügbaren Bioabfall-Behandlungskapazitäten zu einer Neuausweisung von Anlagenstandorten führt, kann nicht abgeschätzt werden. In einzelnen Regionen können sich z. B. aufgrund vorhandener Überkapazitäten im Bereich der Restmüllbehandlung auch gegenläufige Effekte einstellen.

⁷⁵ Ausnahme: gegebenenfalls erforderliche Nachrüstung bei Billiganlagen z. B. auf der Grundlage der TA Luft

Stoffstromverlagerungen durch die verstärkte Ausweisung von reinen NawaRo-Anlagen

Die Bundesgütegemeinschaft Kompost geht davon aus, dass von den bislang ca. 1.000, teilweise landwirtschaftlichen Biogas-Anlagen, die Bioabfall mit, oder exklusiv behandeln nur noch ca. 200 übrig bleiben werden, der Rest wird auf NawaRos wechseln /141/. Dieser Trend wird grundsätzlich auch durch die Ergebnisse der durchgeführten Befragungsaktion bestätigt. Im Rahmen der erhaltenen Rückantworten gaben drei von vier Betreibern landwirtschaftlicher Anlagen an, dass sie zukünftig keine Abfälle mehr verarbeiten werden. Neben den EEG-Boni spielen dabei auch die verfahrens- und genehmigungstechnischen Anforderungen sowie die Probleme bei der Gärrest-Ausbringung im Falle einer Co-Vergärung von Bioabfall eine Rolle.

Auch der Fachverband Biogas hat im Rahmen einer aktuellen Umfrage bei seinen Mitgliedern festgestellt, dass ca. 30 % der Anlagen auf reinen NawaRo-Betrieb umstellen (Stand Oktober 2005)⁷⁶.

Stoffstromverlagerung von Kompostierungsanlagen hin zu Vergärungsanlagen

Sowohl im Bereich der anteiligen Durchsatzkapazitäten, als auch bei den zugewiesenen Mengenströmen ist bislang ein Zuwachs bei den Vergärungstechnologien festzustellen. Obwohl die Kompostierung im Gesamttrend noch Kostenvorteile gegenüber der Vergärung aufweist, konnte dabei anhand von einigen Beispielen gezeigt werden, dass die Nachrüstung einer Anaerob-Stufe in ein bestehendes Kompostwerk im Sinne eines kombinierten Systems nicht zwangsläufig die Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage verschlechtern muss (z. B. Anlagen in Weißenfels und Passau).

Im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen wird gerade die Wirtschaftlichkeit eine große Rolle spielen. Bei der Kompostierung ist diesbezüglich unter der Voraussetzung definierter Standards hinsichtlich der Behandlungskosten eine untere Grenze weitgehend erreicht. Es wird in diesem Zusammenhang allgemein davon ausgegangen, dass die Kompostierungskosten auf dem aktuellen Niveau (ca. 50 bis 70 €/Mg) stagnieren werden /142/. Gegenüber diesem Vergleichspreis sind die bislang realisierten Vergärungsanlagen gemäß den durchgeführten Betrachtungen (siehe Kapitel 6.4.2) trotz EEG nur ansatzweise – z. B. im Bereich von Großanlagen – konkurrenzfähig. Es ist jedoch anzumerken, dass die vorgefundenen Ausgangsparameter zur Kostenbetrachtung anlagenspezifisch teilweise sehr stark streuen und sich derzeit Anbieterkonzepte herauskristallisieren, welche die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasanlagen verbessern dürften. U. a. werden in diesem Zusammenhang auch verstärkte Anstrengungen unternommen, die Wärmenutzung im Bereich der Biogasanlagen effektiver zu gestalten.

Letztendlich reichen die EEG-Vergütungen derzeit als alleiniges Argument für eine Umstellung von aerob auf anaerob – Anlagen bei den (öffentlichen) Entscheidungsträgern in

⁷⁶ Aussage im Rahmen des Fachgespräches „Energetische Verwertung biogener Reststoffe und Nebenprodukte im Spannungsfeld der abfallkreislaufwirtschaftlichen Veränderungen und der BiomasseV“ im Umweltbundesamt am 11./12.10.2005

der Regel nicht aus⁷⁷. Erst in der Zusammenschau mit anderen Aspekten, wie z. B. einer erforderlichen Erweiterung der Durchsatzkapazität, oder der Behebung von Betriebsproblemen (z. B. Geruchsemissionen) kommt derzeit die Vergärungstechnologie als Alternative ins Spiel. Unter Berücksichtigung der bundesweit vorhandenen Relation zwischen genehmigter Anlagenkapazität und vorhandenem Mengenaufkommen ist eine kurz- bis mittelfristige Umstellung der Kompostierungsanlagen auf Vergärungstechnologie daher derzeit nicht darstellbar. Es wird hier unter Berücksichtigung der vorhandenen Abschreibungszeiträume eher von einem sukzessiven Prozess ausgegangen. Inwieweit dabei aus der Umsetzung der neuen TA Luft ein Handlungsbedarf resultiert, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden. Es gibt momentan regionale „Interpretationsspielräume“ und den Wunsch nach einer „vernünftigen“ Umsetzung der TA Luft, bei der bislang „unauffällige“ Anlagen vom potenziellen Nachrüstbedarf befreit werden sollen.

Als Hemmnis im Hinblick auf die bundesweite Umsetzung einer hochwertigen Bioabfallbehandlungstechnik ist die derzeit noch vorhandene Verfügbarkeit von „low-budget“-Anlagen (mit geringer Behandlungsqualität) zu bezeichnen, die im Preissegment < 50 €/Mg bundesweit Massen akquirieren. Hier wird alleine aus Gründen der Wettbewerbsfähigkeit eine einheitliche Umsetzung der TA Luft als sinnvoll erachtet. Inwieweit dies angesichts der vorhandenen Vollzugsmaßnahmen gelingt, wird von den einschlägigen Kreisen (z. B. BGK e. V., BDE, VKS/VKU) eher skeptisch betrachtet.

Ein weiteres Kriterium hinsichtlich der Beurteilung einer Stoffstromverlagerung von Kompostierungsanlagen zu Vergärungsanlagen liegt im Kontext der stofflichen Verwertung in der Qualität der erzeugten Produkte. Hier kann generell davon ausgegangen werden, dass die Kompostqualitäten bei kombinierten Anlagen (anaerob/aerob) und reinen Kompostierungen – ausgenommen von geringen Unterschieden z. B. im Salzgehalt – vergleichbar sind. Auch das Presswasser bei Vergärungsanlagen ist als Düngemittel gütegesichert und findet entsprechende Abnehmer. /143/ weist im Rahmen seiner Untersuchungen zu den Einsatzmöglichkeiten kompostierter Gärrückstände u. a. auf folgende Sachverhalte hin:

- * Bei den kompostierten Gärresten steht wie bei den Komposten aus Bioabfall die Stickstoffzufuhr aufgrund der geringen Mineralisierungsraten nicht im Vordergrund der landwirtschaftlichen Anwendungen.
- * Der kompostierte Gärrest kann genau wie der Kompost einen wesentlichen Beitrag zur Phosphat- und Kaliumversorgung der Böden beitragen.
- * Aufgrund des im Vergleich zu Bioabfallkomposten ungünstigeren P:K-Verhältnisses, muss je nach Bedarf der angebauten Kultur Kalium zur Grunddüngung ergänzt werden.

⁷⁷ Insbesondere der Kleinanlagen-Bonus ist aufgrund der vergleichsweise hohen Aufbereitungskosten bei der Bioabfallbehandlung kaum relevant.

- * Der kompostierte Gärrest leistet, wie auch alle anderen Bioabfallkomposte, einen wertvollen Beitrag zur Humusversorgung der Ackerböden.
- * Grundsätzlich haben Bioabfallkomposte eine basische Wirkung auf den Boden, kompostierte Gärreste führen dabei bei gleicher Zufuhr an basisch wirksamen Bestandteilen im Vergleich zu Komposten zu einer stärkeren Anhebung des pH-Wertes im Boden.
- * Der Einsatz kompostierter Gärreste aus Bioabfall als organischer NPK-Dünger auf Ackerböden ist grundsätzlich positiv zu bewerten.

Fazit: Eine Stoffstromverlagerung von Kompostierungen hin zu anaerob/aerob kombinierten Systemen ist grundsätzlich sinnvoll und führt hinsichtlich einer möglichen Marktverschiebung der erzeugten Komposte zu annähernd vergleichbaren Produkten. Hemmend im Hinblick auf eine verstärkte Umsetzung entsprechender Projekte sind derzeit noch die Behandlungskosten, die – auf der Ebene einer bundesweiten Betrachtung – tendenziell im Bereich der Kompostierung derzeit noch günstiger sind. Auch die EEG-Vergütungen können hier die teilweise noch vorhandenen Kostenunterschiede nicht zur Gänze kompensieren. Die Konkurrenz durch „low-budget“-Anlagen kommt erschwerend hinzu. Letztendlich wird davon ausgegangen, dass sich der bisherige Trend zur verstärkten Umsetzung von Vergärungstechnologien in moderater Form fortsetzen wird.

Verarbeitung von Bioabfällen zu Brennstoffen für eine rein energetische Verwertung

Im Falle einer Brennstoffherzeugung aus Bioabfällen wird – anders als bei der oben geschilderten Verlagerung zu Anaerob-Technologien – der bisherige stoffliche Verwertungsansatz im Sinne einer realen Nutzungskonkurrenz verlassen („stoffliche vs. energetische Verwertung“). Bezüglich der Relevanz eines damit einhergehenden, je nach Umsetzung mehr oder minder großen, potenziellen Rückgangs der verfügbaren Kompostmengen werden nachfolgend einige Zusammenhänge dargestellt.

Kompost wird von den einschlägigen abfallwirtschaftlichen Akteuren (z. B. BGK e. V., BDE, VKS/VKU) - nachdem früher ein Angebotsüberhang bestand - mittlerweile als Nachfrageartikel bezeichnet. Die Substitutionspotenziale, die durch Kompost bei der Düngung geleistet werden können, entsprechen auf der Basis von ca. 4 Mio. Mg Kompost-Frischmasse unter Berücksichtigung des Düngemittelbedarfes in Deutschland folgenden Mengen /144/:

- * Stickstoff (N) 39.520 Mg entsprechend 2,2 % des Bedarfes
- * Phosphat (P_2O_5) 21.580 Mg entsprechend 7,7 % des Bedarfes⁷⁸
- * Kalium (K_2O) 32.760 Mg entsprechend 6,7 % des Bedarfes
- * Kalk (CaO) 124.540 Mg entsprechend 5,9 % des Bedarfes

⁷⁸ von besonderer Relevanz, angesichts der endlichen Verfügbarkeit dieser Ressource

Auf der Grundlage der in der BioabfV genannten Aufwandmengen (20 – 30 Mg TM in drei Jahren⁷⁹) könnten jährlich 2,2 bis 3,3 % der vorhandenen Ackerfläche mit Kompost bedient werden. Da derzeit jedoch aufgrund der Erlössituation Komposte verstärkt in andere Verwertungsbereiche abwandern (siehe Abbildung 6-10) liegen die tatsächlich versorgten Ackerflächen deutlich niedriger⁸⁰.

Neben der Nährstoffzufuhr ist die Bodenversorgung mit organischer Substanz ein weiteres wichtiges Element der landwirtschaftlichen Kompostverwertung. Landwirte müssen dabei unter bestimmten Voraussetzungen jährliche Humusbilanzen erstellen und bei Unterschreitung definierter Grenzwerte Maßnahmen zur Verbesserung der Humusbilanz ergreifen. Die Humusbilanzierung ist dabei ein wichtiger Bestandteil der europäischen Cross Compliance Regelungen⁸¹ im Zusammenhang mit den Regeln zur Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in gutem landwirtschaftlichem und ökologischem Zustand. Der Handlungsbedarf zur Erstellung von Humusbilanzen resultiert dabei aus der Tatsache, dass der Humusgehalt von Ackerböden mit zunehmender Intensität der Bewirtschaftung stärker abnimmt. Insbesondere bei reinen Ackerbaubetrieben (ohne Viehhaltung) oder bei einer Umstellung von Getreide- auf Hackfrüchte- oder Feldgemüseproduktion ist die Humusbilanz häufig negativ⁸² /145/f.. Daher muss die Fruchtbarkeit des Bodens durch gezielten Humusersatz erhalten und gestärkt werden. Die Landwirtschaft erzeugt dabei selbst große Mengen an Wirtschaftsdüngern und Stroh. Diese landwirtschaftliche Eigenversorgung kann jährlich eine Humusreproduktion von etwa 5.900.000 t Humus-C gewährleisten. Die in Komposten aus der getrennten Sammlung enthalten 470.000 t Humus-C entsprechen rund 8 % dieser Menge. Organische Materialien mit hoher Abbaustabilität der organischen Substanz und relativ geringer Nährstoffwirkung sind für die Humusanreicherung dabei im Vergleich z. B. zu Klärschlamm, Schweinegülle, Hühnerkot, besonders geeignet. Mit Rinden-, Laub- und Grüngutkomposten werden in diesem Zusammenhang ähnliche Wirkungen im Boden erzielt, wie das bei der Strohdüngung der Fall ist /147/. Letztendlich können mit den für den Ackerbau üblichen Aufwandsmengenempfehlungen für Kompost (gemäß der Düngebedarfsrechnung) die Humusverluste i. d. R. mehr als ausgeglichen werden. Jedoch sind die derzeit erzeugten Mengen an Kompost aus der getrennten Sammlung als Ressource für Maßnahmen der Bodenverbesserung keineswegs ausreichend⁸³ /148/f.. Aufgrund dieses Sachverhaltes wird im Allgemeinen von einer steigenden Nachfrage nach dem Substrat ausgegangen.

⁷⁹ wird gemäß „guter fachlicher Praxis“ verfahren, ist mit Aufwandsmengenempfehlungen von ca. 8 Mg TM je ha und Jahr zu rechnen

⁸⁰ Es gehen nur etwas mehr wie ca. 40 % der erzeugten Kompostmenge in den Bereich der Landwirtschaft; entsprechend bezieht sich die Kompostnutzung nur noch auf ca. 1 bis 2 % der Ackerflächen.

⁸¹ Regelungen zur Gewährung von Direktzahlungen, basierenden auf den Verordnungen (EG) Nr. 1782/2003 und (EG) Nr. 796/2004

⁸² so weisen z. B. bereits rund 20 % aller in einer vieharmen Untersuchungsregion (Rheinland) untersuchten Lehm Böden bereits kritische Humusgehalte unter 1,7 % auf, in /146/; ca. 9 % der Ackerfläche in Deutschland werden mit Hackfrüchten, Hülsenfrüchten sowie Gemüse, Erdbeeren und anderen Gartengewächsen kultiviert; in /147/.

⁸³ Kern spricht diesbezüglich in /150/ von einer zu vernachlässigenden Größenordnung

Neben den positiven Auswirkungen im Bereich der Nährstoffversorgung und der Humusbilanz haben insbesondere Komposte aus Pflanzenabfällen⁸⁴ eine hohe Substitutionswirkung gegenüber Torf und können somit dem drohenden Verlust wertvoller Torflandschaften⁸⁵ entgegen steuern /150/.

Einschränkungen in der Anwendbarkeit der erzeugten Komposte können sich ergeben durch potenzielle Schadstoffbelastungen. Hier hat sich bei den vorhandenen Schwermetallkonzentrationen die Qualität der erzeugten Komposte in den letzten Jahren tendenziell verbessert /151/ff.. Mit Ausnahme von Kupfer haben sich die Belastungen in allen anderen Bereichen verringert und bleiben größtenteils unterhalb der durch die BioabfV gesetzten Anforderungen. Nach Einschätzung von Fachkreisen ist damit das durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen steuerbare Vermeidungspotenzial zur Schwermetallminimierung weitgehend ausgeschöpft /154/.

Insgesamt steht somit mit den Bioabfallkomposten ein wertvolles Bodensubstrat zur Verfügung, welches sich aufgrund der geschilderten Rahmenbedingungen zum Nachfrageartikel entwickelt hat, dem jedoch im Wettbewerb um die entsprechenden Ausgangsmaterialien – so die Befürchtung einzelner Akteure – eine zunehmende, EEG-basierte Konkurrenz in Form der energetischen Verwertung erwachsen kann. Hinsichtlich der jeweiligen Einsatzmaterialien sind dabei unterschiedliche Voraussetzungen zu differenzieren.

Während sich das Material aus der Biotonne aufgrund seiner Qualität⁸⁶ kaum für eine Aufbereitung zum Brennstoff eignet (siehe Abschnitt 6.3.6), entwickeln sich bezüglich der holzartigen Anteile aus dem Grünschnitt in verstärktem Umfang Konzepte im Sinne einer Verbrennung / thermischen Nutzung der entsprechenden Stoffströme.

Kern schlägt z. B. in /155/ eine Vorgehensweise vor, bei der insbesondere das im Winterhalbjahr anfallende holzreiche Grüngut nach einer groben Materialzerkleinerung ausgeschleust wird. Damit werden gemäß den bisherigen Erfahrungen, Brennstoffpreise im Bereich von ca. 10 bis 20 €/Mg (frei Anlage) erzielt. Dieser holzartige Brennstoff wird dabei häufig in einem Brennstoffmix mit anderen trockenen Materialien bei Anteilen bis zu 50 bis 70 % eingesetzt. Eine mögliche Stoffstromverteilung in der Kompostierungsanlage stellt sich danach wie folgt dar (Abbildung 6-14).

⁸⁴ insbesondere Grünschnitt; Biotonnen-Material nur eingeschränkt

⁸⁵ in Europa wurden durch Torfabbau ca. 60 % der ursprünglich vorhandenen Moore vernichtet; in den alten Bundesländern gingen in Deutschland von den ca. 450.000 ha geologischen Hochmoorflächen ca. 100.000 ha völlig verloren; über 60 % des in Deutschland abgebauten Torfes werden derzeit für Substrate im Erwerbsgartenbau verwendet, 25 % für die Hobbygärtnerei

⁸⁶ insbesondere Wassergehalte, Aschegehalte, Anteile an Fremdstoffen

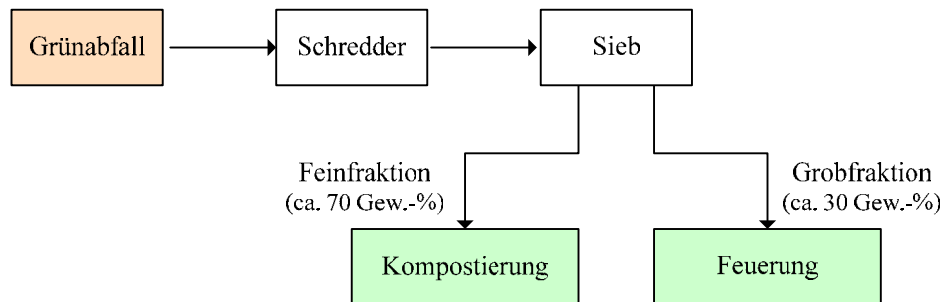


Abbildung 6-14: Mögliche Stoffstromverteilung in der Kompostieranlage bei einer Abtrennung von energetisch nutzbaren Teilströmen /155/

Die jeweilige Korngröße hat dabei auf die wesentlichen Brennstoffeigenschaften wie Heizwert und Aschegehalt einen großen Einfluss. Pretz et al. weisen diesbezüglich in ihren Untersuchungen /156/ für die obere und untere Korngrößenklasse bezüglich des Inputmaterials einer Kompostierung folgende Verteilungen aus:

Tabelle 6-19: Brennstoffeigenschaften von zerkleinertem Grünabfall, nach /156/

| Eigenschaft | Kornklasse > 40 mm | Kornklasse < 10 mm |
|------------------|--------------------|--------------------|
| Heizwert [MJ/kg] | 9,8 | 5,1 |
| Aschegehalt [%] | 7 | 41 |

Durch eine zweiwöchige Rotte konnten die obigen Werte, bedingt durch die Trocknungseffekte deutlich verbessert werden (z. B. Heizwert > 40 mm: ca. 15 MJ/kg). Auch die Siebreste nach Abschluss eines Kompostierungsprozess (Material > 40 mm) weisen mit Heizwerten von 11,2 MJ/kg und Aschegehalten im Bereich von ca. 7 % vergleichsweise gute Eigenschaften auf. Problematisch können bei diesem Material – je nach gewähltem Kompostrohstoff – die potenziell vorhandenen Fremdstoffe (z. B. Kunststoffe, Glas, etc.) sein, welche im Falle einer energetischen Nutzung durch aufwändige Verfahren entfernt werden müssten.

Fazit: zusammenfassend lassen sich bezüglich einer möglichen Brennstoffherzeugung aus Grüngut folgende Sachverhalte darstellen:

- * Durch eine entsprechende Abtrennung von geeignetem Brennstoffmaterial vor oder aus einem Kompostierungsprozess darf der Hauptzweck der Maßnahme, die stoffliche Verwertung nicht gefährdet werden. Strukturmaterial wie z. B. Baum- und Strauchschnitt wird dabei bei qualitativ hochwertigen Prozessen dringend benötigt.
- * Nach Einschätzung der BGK /157/ ist eine Abwägung zwischen stofflicher und energetischer Verwertung dann sinnvoll, wenn die energetische Verwertungsschiene im Sinne einer Ergänzung der stofflichen und nicht im Sinne einer Alternative verstanden wird. Bei Grünschnittkompostierungsanlagen können dabei ca. 30 % vom angelieferten Grünschnittmaterial sinnvoll klassiert und für die thermische Schiene

genutzt werden. Bei Bioabfallkompostierungsanlagen ist dies nicht möglich, da dort der Strukturanteil komplett benötigt wird.

- * Nur den Siebüberlauf einer Anlage in der thermischen Stufe zu nutzen ist weitgehend unproblematisch.
- * Erfahrungsgemäß beeinflusst allein der Ansatz einer entsprechenden Vorgehensweise zur Abtrennung von Brennstoffen bereits den Input einer Anlage. Es sollten somit nur bei Anlagen mit einem deutlichen Strukturmaterialüberschuss entsprechende Maßnahmen umgesetzt werden. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang die zusätzliche Anreizwirkung, die vom NawaRo-Bonus für Grünschnitt ausgeht. Die Sinnhaftigkeit, schon bestehende Potenziale mit einem solchen Bonus zu versehen sollte hier nochmals kritisch hinterfragt werden (siehe Abschnitt 6.2.2).

Bezüglich der aktuellen Entwicklungen ist nach Einschätzung von Fachkreisen eine Abwanderung von Grünschnittanteilen spürbar. Die BGK geht dabei von einer Stoffstromverschiebung in einer Größenordnung von ca. 200.000 bis 300.000 Mg/a aus. Diese ist in ihrer Ursache nicht ausschließlich am EEG festzumachen, eine plausible Zuordnung ist jedoch derzeit noch nicht möglich /158/.

Ergänzend ist anzumerken, dass derzeit auch verstärkt Projekte zur anaeroben Behandlung von Grünschnitt reifen (bislang noch keine entsprechende Anlage). Hinsichtlich der dabei erzielbaren Produktqualitäten können nach derzeitiger Einschätzung im Zusammenhang mit der Verwertbarkeit der nachkompostierten Gärrückstände die Erfahrungen aus der Bioabfallbehandlung (Biotonne) übertragen werden.

6.6 Zusammenfassung

Bioabfälle umfassen gemäß ihrer Definition eine große Vielfalt an Materialien mit unterschiedlichen Qualitäten und Herkunftsbereichen. Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen wurde vereinbart Bioabfälle als getrennt erfasstes Material aus der Biotonne und Grünschnitt bzw. Garten- und Parkabfälle aus kommunalen Anlagen zu interpretieren. Das entsprechende bundesweite Mengenaufkommen hat sich, nachdem es bis 2002 stetig anstieg im Jahr 2003 auf ein Niveau von ca. 7,9 Mio. Mg/a stabilisiert. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der derzeit noch im Restmüll beinhalteten biogenen Anteile kann ein technisches Gesamtpotenzial in Deutschland von ca. 11,5 Mio. Mg/a abgeschätzt werden. Länderspezifisch streuen die Mengenangaben teilweise sehr stark, was u. a. auf eine nicht einheitliche Erstellung von Länderabfallbilanzen zurückzuführen ist.

Zur Verwertung der Bioabfallmengen stehen derzeit Behandlungskapazitäten in einer Größenordnung von ca. 12,5 Mio. Mg/a zur Verfügung, ca. 19 % davon in Form von Vergärungsanlagen. Bioabfall im Sinne des Materials aus der Biotonne wird von 42 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 1,2 Mio. Mg/a – teilweise als Co-Substrat – verarbeitet.

Hinsichtlich der länderspezifischen Verteilung der Anlagenkapazitäten (aerob/anaerob) können teilweise Missverhältnisse zwischen Mengenaufkommen und Anlagenkapazität festgestellt werden. Insbesondere in den östlichen Bundesländern sind in Relation zum jeweiligen Mengenaufkommen – auch in Form von „low-budget“-Anlagen – Überkapazitäten im Bereich der Kompostierung vorhanden, die z. B. durch „Importe“ aus anderen Bundesländern teilweise kompensiert werden.

Im Hinblick auf die Vermarktungswege werden die Bioabfälle in den Anlagen (aerob/anaerob) zu ca. 4,5 bis 4,6 Mio. Mg/a an Kompost verarbeitet, davon ca. 2,7 Mio. Mg/a in gütegesicherter Form. Hauptabnehmer ist dabei mit einem Anteil von über 40 % die Landwirtschaft. Kompost hat dabei derzeit keine Absatzprobleme.

Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit einer getrennten Verwertung von Bioabfällen stehen unter der abfallwirtschaftlichen Maxime, dass Systeme mit einer getrennten Erfassung und Verarbeitung kostengünstiger sein sollten, als Systeme zur alleinigen Restmüllbehandlung. Aufgrund des tendenziell höheren logistischen Aufwandes der Getrenntsammlung sind daher insbesondere an die Bioabfallbehandlungskosten erhöhte Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit zu stellen. Die Bioabfallbehandlung dabei derzeit in der Regel kostengünstiger als die Restmüllbeseitigung. Dies wird sich, bedingt durch die Umsetzung der TASI/AbfAbIV zukünftig zugunsten der getrennten Bioabfallbehandlung weiter entwickeln.

Hinsichtlich der Stromerzeugung aus Bioabfällen weisen die diesbezüglich erforderlichen Vergärungsanlagen im Vergleich zur Kompostierung derzeit noch tendenziell höhere Behandlungskosten aus. Bei Ansatz eines Erlöses für Bioabfall (Referenzpreis Kompostierung) in Höhe von 60 €/Mg sowie einer anteiligen Wärmenutzung konnten im Rahmen einer Modellrechnung Stromgestehungspreise von 13,8 €/t/kWh_{el} (Durchsatz: 40.000 Mg/a) bis 27,5 €/t/kWh_{el} (Durchsatz: 10.000 Mg/a) ermittelt werden. Es ist jedoch anzumerken, dass die zugrunde gelegten Basiszahlen teilweise eine große Streuung aufweisen.

Hinsichtlich einer möglichen zukünftigen Entwicklung im Bereich der Stromerzeugung aus Bioabfällen können folgende Sachverhalte thematisiert werden:

- * Unter Berücksichtigung von kosten- und kapazitätsbedingten Gesichtspunkten ist im Rahmen der Erfüllung der Vorgaben der TASI/AbfAbIV eine weiter gehende Verlagerung von Bioabfällen aus dem Restmüll in getrennte Verwertungsschienen darstellbar. Inwieweit dies aufgrund der verfügbaren Bioabfallbehandlungskapazitäten zu einer Neuausweisung von Anlagenstandorten führt, kann nicht abgeschätzt werden.
- * Hinsichtlich einer Mitbehandlung von Bioabfällen als Co-Substrat in landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen ist festzustellen, dass diese Anlagen verstärkt auf reinen NawaRo-Betrieb umstellen.
- * Eine Stoffstromverlagerung von Kompostierungen hin zu anaerob/aerob kombinierten Systemen ist grundsätzlich sinnvoll und führt hinsichtlich einer möglichen

Marktverschiebung der erzeugten Komposte zu annähernd vergleichbaren Produkten. Es wird davon ausgegangen, dass sich der bisherige Trend zur verstärkten Umsetzung von Vergärungstechnologien in moderater Form fortsetzen wird.

- * Hinsichtlich der Brennstoffherzeugung aus Bioabfällen sind lediglich im Bereich Grünschnitt Ansätze darstellbar. Durch eine entsprechende Abtrennung von geeignetem Brennstoffmaterial vor oder aus einem Kompostierungsprozess darf dabei jedoch der Hauptzweck der Maßnahme, die stoffliche Verwertung nicht gefährdet werden.

Im Rahmen der durchgeführten Interviews und Diskussionen mit den einschlägigen Expertenkreisen wurde festgestellt, dass das EEG –welches im Allgemeinen als transparent und überschaubar erachtet wird – doch einen Einfluss auf die Kompostwirtschaft ausübt. Dies wurde seitens der betroffenen Akteure zunächst nicht so eingeschätzt. Aus Sicht der Abfall- und Kompostwirtschaft wurden dabei im Hinblick auf zukünftige Abwägungen u. a. folgende Anforderungen artikuliert:

- * Es besteht der Wunsch nach einer erhöhten Planungssicherheit durch eine eindeutigere Definition des Bioabfallbegriffes im Sinne der BiomasseV. Unklar sind dabei z. B. Regelungen bei Stoffmischungen, insbesondere im Zusammenhang mit Stör-/Fremdstoffanteilen (Beispiel: Siebrest).
- * Man sollte – insbesondere im Zusammenhang mit dem NawaRo-Bonus – nur solche Stoffe fördern, für die Produktions-/Gestehungskosten anfallen und nicht solche, für die bereits ein Entsorgungsmarkt besteht.

Bezüglich der gewünschten Konkretisierung der Definition des Bioabfallbegriffes besteht gegebenenfalls die Möglichkeit im Rahmen der derzeit anstehenden Überarbeitung des Anhang 1 der BioabfV im Sinne einer ‚offiziellen‘ Beurteilungsgrundlage zusätzliche Informationen der BiomasseV/des EEG aufzunehmen (z. B. Anerkennung als Biomasse, Vergütungssätze, erweiterte Qualitätskriterien).

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Damit liegen in der Zusammenfassung umfassende Ergebnisse vor (vgl. Kapitel 1), die sich mit den Stoffgruppen (i) Altholz, (ii) tierische Nebenprodukte und (iii) Bioabfällen auseinander setzen und jeweils neben einer aktuellen Markt- und Stoffstromerhebung ebenso eine Gegenüberstellung der ökonomischen Aspekte sowie der der Abschätzung der zukünftigen Entwicklung ermöglichen. Die daraus resultierenden Schlussfolgerungen lassen sich im Wesentlichen wie folgt zusammenfassen:

- * Für die gegenwärtigen Nutzungs- und Verwertungspfade **tierischer Nebenprodukte** ist deutlich geworden, dass sich nach Inkrafttreten des Verfütterungsverbotsgesetz im Jahr 2000 sowie der EU-Hygieneverordnung im Jahr 2003 für die Produkte der Tierkörperverwertung geeignete Absatzwege durchgesetzt haben und sich eine weitgehend stabile Nachfrage- und Abnehmerstruktur etabliert hat.
Die Abschätzung wirtschaftlicher und klimarelevanter Aspekte hat deutlich gemacht, dass ein Bedarf hinsichtlich der Förderung der energetischen Verwertung von tierischen Nebenprodukten zur Stromzeugung nicht zwingend gegeben ist. Unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen lässt sich zum einen ein wirtschaftlicher Betrieb von Bioenergieanlagen erzielen, speziell im Fall der energetischen und stofflichen Nutzung von tierischen Nebenprodukten in Biogasanlagen. Zum anderen ist im Hinblick auf den Gesichtspunkt Klimarelevanz bestätigt worden, dass insbesondere durch die Etablierung von Tiermehl und -fett als Energieträgersubstitut fossiler Brennstoffe (d. h. Kohle) in der Zufeuerung bereits derzeit einen deutlichen Beitrag zur Senkung der treibhausgasrelevanten Emissionen leistet.
- * Die Verstromung von **Altholz** war in den letzten Jahren von einer starken Dynamik gekennzeichnet, die insbesondere durch die Nutzung von A III- und A IV-Hölzern getragen wurde. Der Altholzbedarf für den energetischen Einsatz hat sich wesentlich erhöht, was sich ebenfalls in der Preisentwicklung der letzten Jahre widerspiegelt. Die neu in Betrieb genommenen Anlagen haben teilweise mit technischen Problemen zu kämpfen, was entsprechende Konsequenzen für die Wartungs- und Instandhaltungskosten, der technischen Verfügbarkeit und damit letztendlich auch der Wirtschaftlichkeit hat. Momentan werden große Anstrengungen unternommen, um durch Instandsetzungsmaßnahmen und Verbesserung des Brennstoffmanagements die ökonomische Effizienz der Anlagen zu verbessern. Zukünftig werden im Altholzbereich nur noch Stromerzeugungsanlagen auf Basis A I/ A II-Hölzer gebaut, die schwerpunktmäßig in der Holzindustrie angesiedelt sind. Eine Wirtschaftlichkeit ist unter den Bedingungen des EEG abhängig von der Anlagengröße in der Regel nur dann gegeben, wenn neben preisgünstiger Brennstoffbereitstellung eine umfassende Wärmeauskopplung realisiert werden kann. Da diese Standorte jedoch begrenzt sind,

wird in den folgenden Jahren die Stromerzeugung auf Basis von Altholz deutlich geringer ansteigen als in den letzten Jahren.

- * Für die Verwertung von **Bioabfällen** stehen ausreichende Behandlungskapazitäten zur Verfügung; etwa 1/5 davon entfällt auf Vergärungsanlagen. Dabei ist die Bioabfallbehandlung im Regelfall kostengünstiger als die Restmüllbeseitigung, was insbes. infolge AbfAbIV/TASi deutlich wird. Hinsichtlich der Vermarktung werden Bioabfälle in erster Linie zu Komposten verarbeitet, wobei die Landwirtschaft als Hauptabnehmer gilt.

Bezüglich der Stromerzeugung aus Bioabfällen kann resümiert werden, dass die Vergärungsanlagen im Vergleich zur Kompostierung derzeit noch tendenziell höhere Behandlungskosten aus. Ein wirtschaftlicher Betrieb im Kontext des EEG lässt sich nicht darstellen. Dennoch ist die Verlagerung von Kompostierungen hin zu anaerob/aerob kombinierten Systemen grundsätzlich sinnvoll und führt hinsichtlich einer möglichen Marktverschiebung der erzeugten Komposte zu annähernd vergleichbaren Produkten. Bei der Mitbehandlung von Bioabfällen als Co-Substrat in landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen ist festzustellen, dass diese Anlagen verstärkt auf reinen NawaRo-Betrieb umstellen.

Der Schwerpunkt der kommenden Arbeiten liegt auf detaillierten Datenabfrage zur Aktualisierung und Erfassung von Bioenergieanlagen zur Stromerzeugung in Deutschland sowie der Auswertung der Ergebnisse. Dies dient der Aktualisierung und Fortschreibung der Datenbank sowie der Erhebung der Stoffströme eingesetzter Brennstoffe und Substrate. Darüber hinaus wird der Themenkomplex Umweltaanforderungen erarbeitet, welcher die inhaltliche Auseinandersetzung mit den praxisrelevanten Energiebereitstellungsketten aus Biomasse sowie die Identifizierung besonders negativer Umweltauswirkungen und volkswirtschaftlich kritischen Arbeitsschritte sowie Empfehlungen hinsichtlich einzuhaltender Mindeststandards umfasst.

Literatur- und Referenzverzeichnis

- /1/ Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) vom 29. März 2000, BGBl I 2000, S. 305
- /2/ Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung – BiomasseV) einschließlich Begründung vom 21. Juni 2001, BGBl 2001, S. 1234
- /3/ Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung – BiomasseV) vom 21. Juni 2001 (BGBl. I Nr. 29 vom 27. Juni 2001 Seite 1234), zuletzt geändert durch die 1. Verordnung zur Änderung der Biomasseverordnung vom 9. August 2005 (BGBl. I Nr. 49 vom 17. August 2005 Seite 2419)
- /4/ Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz. In der Fassung vom 15.8.2002
- /5/ Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: Monitoring zur Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) aus Umweltsicht; Endbericht, Leipzig, Dezember 2003
- /6/ Niemann, H. (2002): Statistik der Fleischmehlindustrie mit Unterteilung nach Rohmaterial- und Verwendungsarten. In: Die Fleischmehlindustrie – Zeitschrift für Tierkörperbeseitigung und Verwertung von Schlachtkörperteilen, Offizielles Organ des Verbandes Fleischmehlindustrie e. V., 54. Jhrg., Nr. 5/2002
- /7/ Niemann, H. (2003): Bemühungen um höhere Wertschöpfung erfolgreich. Statistik der Fleischmehlindustrie 2002. In: Die Fleischmehlindustrie – Zeitschrift für Tierkörperbeseitigung und Verwertung von Schlachtkörperteilen, Offizielles Organ des Verbandes Fleischmehlindustrie e. V., 55. Jhrg., Nr. III/2003
- /8/ Niemann, H. (2004): Nochmals verbesserte Wertschöpfung. Statistik der Fleischmehlindustrie 2003. In: Die Fleischmehlindustrie – Zeitschrift für Tierkörperbeseitigung und Verwertung von Schlachtkörperteilen, Offizielles Organ des Verbandes Fleischmehlindustrie e. V., 56. Jhrg., Nr. III/2004
- /9/ Niemann, H. (2005): Verarbeitung tierischer Nebenprodukte pendelt sich auf 2,3 Mio. t ein. In: Tierische Nebenprodukte Nachrichten (TNN) – Zeitschrift für die Beseitigung tierischer Nebenprodukte, Offizielles Organ des Verbandes der Verarbeitungsbetriebe Tierischer Nebenprodukte e. V. (VVTN), 57. Jhrg., Nr. II/2005
- /10/ Kleinhanß et al. (2000): Folgeabschätzung alternativer Entsorgungsverfahren für Tierkörper und Schlachtabfälle bei einem Verwendungsverbot für Futtermittelherstellung. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Landbauforschung Völkenrode (FAL), Sonderheft 209, 2000
- /11/ Verband der Fleischmehlindustrie e.V. (2004): von der Homepage zu entnehmende Informationen, URL: www.fleischmehlindustrie.de (Zugriff: November 2004)
- /12/ Verband der Fleischmehlindustrie e.V. (2004/2005): persönliche Mitteilungen, November 2004 bis Mai 2005

- /13/ Foodwatch e.V. (2004): Alles außer Kontrolle – Sicherheitslücken der Tiermehlverwertung in Zeiten von BSE. Tiermehl-Report, Oktober, 2004
- /14/ Europäische Gemeinschaft (2002): Verordnung (EC) 1774/2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte des Europäischen Parlaments und des Rates (ABl. EG Nr. L 273 S. 1), 3. Oktober 2002
- /15/ Europäische Gemeinschaft (2005): Verordnung (EG) Nr. 12/2005 der Kommission zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 809/2003 und (EG) Nr. 810/2003 hinsichtlich der Verlängerung der Gültigkeit der Übergangsmaßnahmen für Kompostier- und Biogasanlagen gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates, 6. Januar 2005
- /16/ Europäische Gemeinschaft (2005): Verordnung (EG) Nr. 92/2005 der Kommission zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Maßnahmen zur Beseitigung oder Verwendung tierischer Nebenprodukte und zur Änderung des Anhangs VI hinsichtlich der Biogas-Verarbeitung und der Verarbeitung von ausgelassenen Fetten, 19. Januar 2005
- /17/ Landtag Nordrhein-Westfalen (2004): Ausführungsgesetz zum Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (AGTierNebG NRW). Gesetzentwurf der Landesregierung, Drucksache 13/5930, Düsseldorf, September 2004
- /18/ SARIA Bio-Industries (2004): persönliche Mitteilung
- /19/ SARIA Bio-Industries (2004): SARIA Bio-Industries in Zahlen. von der Homepage zu entnehmende Informationen, URL: www.saria.de (Zugriff: März 2005)
- /20/ SARIA Bio-Industries (2005): Saria news. Ausgabe 02 f./2005, Selm, 2005
- /21/ SÜPRO Südhessische Protein- und Tierfettfabrikation GmbH (2004/2005): persönliche Mitteilung
- /22/ Befragung von Verarbeitungsbetrieben tierischer Nebenprodukte im Zeitraum von November 2004 bis Januar 2005
- /23/ Sächsische Tierseuchenkasse (2004): persönliche Mitteilung
- /24/ Untere Veterinärbehörde Leipzig (2004): persönliche Mitteilung
- /25/ Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2004): persönliche Mitteilung
- /26/ Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2005): Liste der Verbrennungsanlagen in Deutschland. Stand 13. April 2005
- /27/ Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2004): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2004. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2004

- /28/ Berger, U.; Ferstl, Th.; Illgen, G.; Köster, K.; Schröck, D. & Schurian, F. (2004): Veterinärrechtliche Voraussetzungen für den Betrieb von Biogasanlagen. In: Biogashandbuch Bayern - Materialienband, Kap. 2.2.6, Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU), Augsburg, Dezember 2004
- /29/ HeidelbergCement (2004): Ressourcen schonen, Energie einsparen, Abfallmengen verringern - Verwerten statt deponieren: Der Einsatz von sekundären Roh- und Brennstoffen bei HeidelbergCement in Deutschland. Broschüre der HeidelbergCement AG, Heidelberg, 2004
- /30/ HeidelbergCement (2005): persönliche Mitteilung
- /31/ Verein Deutscher Zementwerke (2003): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2002. VDZ Verein Deutscher Zementwerke e. V., Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf, Dezember 2003
- /32/ Statistisches Bundesamt (2004): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Schlachtungen und Fleischerzeugung. Fachserie 3 / Reihe 4.2.1, 4. Vierteljahr und Jahr 2003, Wiesbaden, 2004
- /33/ Statistisches Landesamt Berlin (2005): persönliche Mitteilung
- /34/ Statistisches Landesamt Bayern (2005): persönliche Mitteilung
- /35/ Statistisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern (2005): persönliche Mitteilung
- /36/ Foodwatch e.V. (2005): Lug und Trog - Der foodwatch-Report über billige Futtermittel, die uns teuer zu stehen kommen. Futtermittel-Report, April, 2005
- /37/ ZTS-Betriebe Plattling-Rötz (2004): Die TBA-Gebühren in Rheinland-Pfalz sinken ab 2005. Artikel aus der allgemeinen Fleischer Zeitung 49/2004, Presseberichte, URL: <http://www.zts-betriebe.de/printable/aktuelles/presseberichte/30112004.html>
- /38/ ZTS-Betriebe Plattling-Rötz (2005): Gebührensatzung 2005
- /39/ Zweckverband für Tierkörperbeseitigung Sachsen (2004): Satzung des Zweckverbandes für Tierkörperbeseitigung Sachsen über die Benutzung und über Gebühren vom 09. September 2004. Sächsisches Amtsblatt Nr. 39/2004, September 2004
- /40/ Tierseuchenkasse Baden-Württemberg (2004): Auszug aus der Gebührensatzung des Zweckverbandes Tierkörperbeseitigung Neckar-Franken. Veröffentlicht im Staatsanzeiger Baden-Württemberg, Ausgabe 29 vom 26.07.2004 und im Bayerischen Staatsanzeiger vom 23.07.2004
- /41/ Schleswig-Holsteinischer Landtag (2004): Tiermehlverwertung in Schleswig-Holstein. Kleine Anfrage der Abgeordneten Claus Hopp und Frauke Tengler (CDU) und Antwort der Landesregierung - Ministerium für Soziales, Gesundheit und Verbraucherschutz, Drucksache 15/ 3834, November 2004
- /42/ Deutscher Bundestag (2004): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Angelika Brunkhorst, Hans-Michael Goldmann, Birgit Homburger,

- weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP - Behandlung von Tierabfällen in Biogasanlagen. Drucksache 15/4022, Oktober 2004
- /43/ Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft (2005): persönliche Mitteilung
- /44/ Biogasfachverband (2005): persönliche Mitteilung
- /45/ Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (2005): persönliche Mitteilung
- /46/ Sächsisches Staatsministerium für Soziales, Ref. 24 Allgemeine Angelegenheiten des Veterinärwesens, Tierseuchenbekämpfung, Tierschutz (2005): persönliche Mitteilung
- /47/ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.) (2004): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Bundesanstalt für Landwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Leipzig, 2004
- /48/ ISO 14040 (1997) Umweltmanagement – Produkt-Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen.
- /49/ ISO 14041 (1998): Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz.
- /50/ ISO 14042 (1998): Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung (Entwurf).
- /51/ ISO 14043 (1998): Umweltmanagement – Ökobilanz – Auswertung (Entwurf).
- /52/ IPCC (2001): Intergovernmental Panel of Climate Change: WGI Third Assessment Report. 2001
- /53/ IPCC (2001): Intergovernmental Panel of Climate Change: IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.
- /54/ Bayrischer Landtag (2005): Schriftliche Anfrage der Abgeordneten Barbara Rütting, Ruth Paulig BÜNDNIS 90 DIE GRÜNEN vom 14.10.2004 - Tiermehlverwertung in Bayern sowie Antwort des Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz vom 24.01.2005, Drucksache 15/2603, Februar 2005
- /55/ Mantau, U.: Holzrohstoffbilanz Deutschland – Bestandsaufnahme 2002. Hamburg 2004
- /56/ Mantau, U.; Weimar, H.: Altholz im Entsorgungsmarkt – Aufkommens- und Vermarktungsstruktur. In: Standorte der Holzindustrie, Abschlussbericht im Auftrag von Holzabsatzfonds (HAF) und Verband der deutschen Papierfabriken e.V. (VDP), Hamburg 2005
- /57/ Mantau, U.; Bilitewski, B.: Stoffstrom-Modell-Holz, Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten, Forschungsbericht für den Verband der deutschen Papierfabriken e.V. (VDP), Celle 2005 EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 6/2005

- /58/ Umweltbundesamt: Statistiken und Grafiken zur Siedlungsabfallentsorgung 2005. http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/statistiken_zu_abfallwirtschaft/doc/5886.php
- /59/ GROW GmbH - Group Recycling of Wood (2005), persönliche Mitteilung
- /60/ Öko-Institut e.V.: Stoffstromprojekt zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Freiburg. 2004
- /61/ Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2005): persönliche Mitteilung
- /62/ Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter e.V. (2005), persönliche Mitteilung, 2005
- /63/ Lang, A.: Charakterisierung des Altholzaufkommens in Deutschland. Rechtliche Rahmenbedingungen, Mengenpotenzial, Materialkennwerte Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg ; Nr. 215, Hamburg, 2004
- /64/ Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: Wärmegewinnung aus Biomasse. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Leipzig, 2004
- /65/ Rheinbraun Brennstoff GmbH: Jährliche Haushaltsbefragung zur Festbrennstoffsituation in Deutschland (www.heizprofi.com) 2003 und frühere Jahrgänge
- /66/ Mantau, U.; Weimar, H.: Einsatz von Biomasse in Energieanlagen. Abschlussbericht im Auftrag von Holzabsatzfonds (HAF) und Verband der deutschen Papierfabriken e.V. (VDP), Hamburg 2004, 21 S.
- /67/ <http://www.rwe.de/generator.aspx/language=de/id=151966/rwe-power.html>. Zugriffsdatum: 11.10.2005
- /68/ Standwerke Flensburg: Was ist KWKplus? <http://www.kwkplus.de/index.php?menuID=9>. Zugriffsdatum: 11.10.2005
- /69/ Umweltbundesamt: Einsatzmengen in thermischen Verwertungsanlagen. www.umweltbundesamt.de. Zugriffsdatum: 11.10.2005
- /70/ Verein Deutscher Zementwerke e. V. (VdZ): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie – Jahrgänge 1998 bis 2004. www.vdz-online.de. Zugriffsdatum: 11.10.2005
- /71/ Statistisches Bundesamt (2005), persönliche Mitteilung
- /72/ Umweltbundesamt: Grenzüberschreitende Verbringung von genehmigungspflichtigen Abfällen, Jahre 1999-2004. www.umweltbundesamt.de. Zugriffsdatum: 05.10.2005
- /73/ INTERWOOD GMBH: www.interwood-gmbh.de. Zugriffsdatum: 05.10.2005
- /74/ http://www.alba-online.de/pub/jsp/b_frame.jsp?sitemap_id=10082&lang=de/ Zugriffsdatum: 05.10.2005

- /75/ REMONDIS AG & CO. KG: www.remondis.de/f_set.php/. Zugriffsdatum: 05.10.2005
- /76/ INTERSEROH AG: Geschäftsberichte 2002, 2003 und 2004. www.interseroh.de, Zugriffsdatum 05.10.2005
- /77/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 17/1999, Nr. 18/2001, Nr. 31/2002, Nr. 31/2003, Nr. 31/2004, Nr. 31/2005
- /78/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 5/2004
- /79/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 19/2005
- /80/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 31/2004
- /81/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung vom 03.11.2004 Nr. 45/2004
- /82/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 6/2005
- /83/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 31/2005
- /84/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: o.V.: Notiert; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 47/2005
- /85/ Energietechnik Leipzig (2005), persönliche Mitteilung
- /86/ Fichtner GmbH & Co. KG (2005), persönliche Mitteilung
- /87/ www.umweltfondsvergleich.de/fp/archiv/fondsportraits/biomassekraftwerksilbitz.php. Zugriffsdatum 02.11.2005
- /88/ www.visavis.de/modules.php?name=News&file=article&sid=4161. Zugriffsdatum 02.11.2005
- /89/ Fichtner GmbH & Co. KG: Markt- und Kostenentwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Gut achten im Auftrag der Bundesinitiative BioEnergie (BBE), Stuttgart, April 2002
- /90/ Seeger, K.: Was wird die Verordnung für die inländische energetische Altholzverwertung bringen?“ Vortrag im Rahmen der Seminarveranstaltung „Die zukünftige Altholzverordnung und ihre Umsetzung in die Praxis“ der Gütegemeinschaft Gebrauchtholz-Recycling e. V. am 06. Februar 2003 in Nürnberg. www.seeger.ag/pdf/downloads_vortraege_030206.pdf. Zugriffsdatum 02.11.2005
- /91/ VGB Power Tech (2005), Persönliche Mitteilung

- /92/ o.V. Übergangsmanagement: Zukunft für Feldberger Biomasse-Heizkraftwerk gegeben. <http://www.mecklenburg-strelitz.de/scripts/news.view.asp?NewsID=1673953246>. Zugriffsdatum 05.11.2005
- /93/ BMU: Erneuerbare Energien Ausbau Gesetz –Begründung. <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/5982/4596/>. Zugriffsdatum 02.11.2005
- /94/ o.V. Gute Exportkonjunktur bringt Holzwerkstoffproduktion in Schwung: <http://www.vhi.de/VHI-Aktuelles.cfm> /. Zugriffsdatum 09.11.2005
- /95/ Jung, G., Restmüll-/LVP-Versuche in Rheinland-Pfalz – Perspektiven für die Abfallwirtschaft, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /96/ Vogt, R., et.al., Ökobilanz Bioabfallverwertung, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2002
- /97/ BMU, Vorschlag zur Überarbeitung Anhang 1 BioAbfV, Stand 03.09.2004
- /98/ ITAD Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland, Statuspapier, August 2002
- /99/ Edelmann, W., Gegenüberstellung der Ökobilanzen und ökonomischen Daten von Kompostierung, Vergärung und thermischer Behandlung biogener Abfälle, in: Bio- und Restabfall-behandlung III, Witzenhausen-Institut, 1999
- /100/ Gassner, Groth, Siederer, Studie zur Anwendbarkeit des EEG bei Verstromung von Biogas aus der Vergärung von MBA-Abfällen, im Auftrag der ASA Arbeitsgemeinschaft stoffspezifische Abfall-behandlung e.V., Oktober 2004
- /101/ Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG), vom 27. September 1994, zuletzt geändert am 21. August 2002
- /102/ Baake, R., Abfallwirtschaft bietet großes Potenzial für Klimaschutz, Pressemitteilung BMU, September 2005
- /103/ Öko-Institut, Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale, Umweltbundesamt Forschungsbericht 205 33 314, August 2005
- /104/ Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall), Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993
- /105/ Europäische Kommission GD ENV.A.2, Arbeitspapier „Die biologische Behandlung von Bioabfällen“, zweiter Entwurf, Februar 2001
- /106/ www.bgkev.de/news
- /107/ Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagerungsverordnung – AbfAblV), vom 20. Februar 2001

- /108/ Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV), vom 19.Juni 2002
- /109/ Bericht der LAGA zur 63. Umweltministerkonferenz, Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung, 3. Fortschreibung, August 2004
- /110/ BMU, BMVEL, Gute Qualität und sichere Erträge, wie sichern wir die langfristige Nutzbarkeit unserer landwirtschaftlichen Böden ?, Berlin, Juni 2002
- /111/ Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 16. Juli 1999
- /112/ Bergs, C., Grenzwertkonzept der Bundesregierung, Tagungsband 63. Informationsgespräch des ANS e.V., Berlin, 2002
- /113/ Kranert, M., Grenzen der Grenzwerte bei Klärschlamm und Kompost, Tagungsband 63. Informationsgespräch des ANS e.V., Berlin, 2002
- /114/ persönliche Auskunft, Dr. B. Kehres, Bundesgütegemeinschaft Kompost, Juli 2005
- /115/ Patten, A., Hygieneanforderungen an Biogasanlagen, Fachverband Biogas e.V., Tagungsband zur 14. Jahrestagung, Januar 2005; BMU, Vorschlag zur Überarbeitung Anhang 2 BioAbfV, Stand 17.09.2004
- /116/ pers. Auskunft Herr Dreyer, BMU vom 04.10.2005
- /117/ Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24.Juli 2002
- /118/ Freund, E., Genehmigungsrechtliche Anforderungen und Ermessensspielräume zu Nachrüstungen für Kompostierungsanlagen nach TA Luft, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /119/ ifeu, Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland, Teilbericht Siedlungsabfälle, UFO-Plan-Vorhaben, FKZ 203 92 309, April 2005
- /120/ Abfallbilanzen der Bundesländer, 2001-2003
- /121/ Statistisches Bundesamt, Fachserie 19/Reihe 1, Umwelt, Abfallentsorgung, 2001-2003
- /122/ Fricke, K., et. al., Die Getrenntsammlung und Verwertung von Bioabfällen – Bestandsaufnahme 2003, „Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen“, Schriftenreihe des ANS, Nr. 44, Juli 2003
- /123/ Kern, M., Sprick, W., Abschätzung des Potenzials an regenerativen Energieträgern im Restmüll, in: Bio- und Restabfallbehandlung V, Witzenhausen - Institut, 2001
- /124/ Fricke, K et. al., Bundesweite Umfrage zur Optimierung der Bioabfallsammlung, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2000
- /125/ Vogt et. al., Ökobilanz Bioabfallverwertung, Erich Schmidt Verlag, 2002

- /126/ Fricke, K., Turk, T. Vogtmann, H., Grundlagen zur Kompostierung von Bioabfällen, Ingenieurgemeinschaft Witzenhausen, Kassel, 1989
- /127/ Fischer, P., Kompostierung von Grünrückständen aus Garten und Parks, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1988
- /128/ Kern, M., Kompostanlagen in der Bundesrepublik Deutschland, in: Müll – Handbuch, Erich Schmidt Verlag, MuA, Lfg. 2/00
- /129/ Kern, M., Vergärungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland, in: Müll – Handbuch, Erich Schmidt Verlag, MuA, Lfg. 2/00
- /130/ Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. Verzeichnis der Kompostierungs- und Vergärungsanlagen in Deutschland, Stand November 2004
- /131/ Leible, L., et. al., Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen, Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6882, 2003
- /132/ Kehres, B., Perspektiven der stofflichen Verwertung von Bioabfällen in Deutschland, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /133/ Dach, J., Warnstedt, A., Aufbereitung von Bioabfällen für die Verwertung in Biomassekraftwerken, in: Bio- und Restabfallbehandlung VIII, Witzenhausen-Institut, 2004
- /134/ Pretz, T., et. al., Brennstoffgewinnung aus Kompostrohstoffen?, Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V., EdDE Dokumentation 8, März 2005
- /135/ INFA-Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management GmbH, Kostenbetrachtung für die separate Bioabfallsammlung und –behandlung, im Auftrag des nordrhein-westfälischen Humus- und Erdenwirtschaft e.V., November 2004
- /136/ Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Kosten und Leistungen in der städtischen Abfallwirtschaft, im Auftrag von: Verein zur Förderung der Abfallwirtschaft Region Rhein-Wupper e.V., Februar 2004
- /137/ Dube, J., Integration einer Vergärungsanlage in eine Kompostierungsanlage zur Verarbeitung von Bioabfällen, in Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /138/ Wöbbeking, K.-H., et al., Betrieblicher Kennzahlenvergleich für die kommunale Abfallwirtschaft in Hessen, im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlicher Raum und Verbraucherschutz, 2004
- /139/ Siedlungsabfallentsorgung 2005, BMU, Stand 01.Juni 2005
- /140/ Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Bericht der LAGA zur 63. Umweltministerkonferenz „Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung“, Stand 31. August 2004
- /141/ Kehres, B., persönliche Auskunft am 20.07.05

- /142/ Kehres, B., persönliche Auskunft 20.07.05, INFA-Studie (2004)
- /143/ Kirsch, A., Einsatz kompostierter Gärreste in der Landwirtschaft, Inaugural-Dissertation, Universität Bonn, Kirsch Verlag, 2002
- /144/ StBA in <http://www.bgkev.de/infodienste/artikel.htm>
- /145/ BGK e.V. Gute fachliche Praxis der Humusdüngung im Ackerbau in: <http://www.bgkev.de/infodienste/artikel.htm>
- /146/ StBA, reichweite des Kompostaufkommens im Sinne der Humusbilanzierung, in: <http://www.bgkev.de/infodienste/artikel.htm>
- /147/ BGK e.V., Humusversorgung in der Landwirtschaft kann durch Kompost um 8 % erhöht werden, VDLUFA-Kongress, Rostock, 2004, in <http://www.bgkev.de/infodienste/artikel.htm>
- /148/ BGK e.V., Ausgleich von Humusverlusten in Ackerböden, in: <http://www.bgkev.de/infodienste/artikel.htm>
- /149/ Kern, M., Raussen, T., Chancen und Perspektiven zur Nutzung von biogenen Abfallströmen nach EEG, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /150/ WWF, Hintergrundinformation, März 2005
- /151/ Fricke, K., et al., Die Bioabfallsammlung und –kompostierung in der Bundesrepublik Deutschland – Situationsanalyse 1991, Schriftenreihe des ANS 20, Wiesbaden, 1991
- /152/ Kehres, B., Vermeidungspotenzial von Schwermetallen im Kompost ist praktisch ausgeschöpft, in: Humuswirtschaft & Kompost, 2003
- /153/ Riedel, H., et al., Gehalte von Schwermetallen und organischen Schadstoffen in Bioabfall- und Grüngutkomposten, Müll und Abfall, März 2005
- /154/ Fricke, K., et al., Die Getrenntsammlung und Verwertung von Bioabfällen – Bestandsaufnahme 2003, in: „Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen“, Schriftenreihe des ANS 44, 2003
- /155/ Kern, M., Raussen, T., Chancen und Perspektiven zur Nutzung von biogenen Abfallströmen nach EEG, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /156/ Pretz, T., et al., Brennstoffgewinnung aus Kompostrohstoffen?, Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V., EdDE Dokumentation 8, März 2005
- /157/ Kehres, B., Perspektiven der stofflichen Verwertung von Bioabfällen in Deutschland, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /158/ BGK e.V., persönliche Auskunft Dr. Kehres, 20.07.2005

- /159/ Kaimer, M., Schade, D., Zukunftsfähige Hausmüllentsorgung, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2002
- /160/ BMU: Siedlungsabfallentsorgung 2005, BMU, Juni 2005
- /161/ BMU: Pressemitteilungen, Kapazitäten für Hausmüllentsorgung reichen aus, Juli 2005
- /162/ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen, Aktualisierung der Ausgabe 2000 mit Förderung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL), Gülzow, 2005
- /163/ Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW): Nettostromerzeugung in Deutschland 2004; unter <http://www.strom.de> (Zugriff: 03.02.2006)
- /164/ Institut für Energetik und Umwelt; Fichtner, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft & Klinski, S. (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, 2006