

Endbericht

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, Janet Witt, Daniela Thrän, Sven Schneider

in Kooperation mit:



Institut für ZukunftsEnergieSysteme gGmbH, Saarbrücken

Frank Baur, Marc Koch



Öko-Institut e. V., Darmstadt

Uwe R. Fritsche, Kirsten Wiegmann

2007

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.
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt

Leipzig, den 26. Februar 2007

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abkürzungsverzeichnis..... | VI |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 <i>Hintergrund und Zielstellung</i> | <i>1</i> |
| 1.2 <i>Generelle Methodik und Berichtsinhalte.....</i> | <i>2</i> |
| 2 Fortschreibung der Daten zur Stromerzeugung aus Biomasse | 4 |
| 2.1 <i>Feste Bioenergieträger.....</i> | <i>4</i> |
| 2.1.1 <i>Anlagenbestand</i> | <i>4</i> |
| 2.1.2 <i>Installierte elektrische Leistung</i> | <i>7</i> |
| 2.1.3 <i>Stromerzeugung</i> | <i>8</i> |
| 2.1.4 <i>Brennstoffeinsatz.....</i> | <i>9</i> |
| 2.2 <i>Flüssige Bioenergieträger.....</i> | <i>10</i> |
| 2.2.1 <i>Anlagenbestand</i> | <i>10</i> |
| 2.2.2 <i>Installierte elektrische Leistung</i> | <i>11</i> |
| 2.2.3 <i>Stromerzeugung</i> | <i>12</i> |
| 2.2.4 <i>Brennstoffeinsatz.....</i> | <i>13</i> |
| 2.3 <i>Gasförmige Bioenergieträger</i> | <i>13</i> |
| 2.3.1 <i>Anlagenbestand</i> | <i>13</i> |
| 2.3.2 <i>Installierte elektrische Leistung</i> | <i>16</i> |
| 2.3.3 <i>Stromerzeugung</i> | <i>19</i> |
| 2.3.4 <i>Substrateinsatz.....</i> | <i>19</i> |
| 2.4 <i>Beitrag zum Klimaschutz.....</i> | <i>20</i> |
| 2.4.1 <i>Methodischer Ansatz.....</i> | <i>20</i> |
| 2.4.2 <i>Bruttostromerzeugung in Deutschland.....</i> | <i>21</i> |
| 2.4.3 <i>Vermiedene CO₂-Äquivalent-Emissionen</i> | <i>23</i> |
| 2.5 <i>Zusammenfassung</i> | <i>25</i> |
| 3 Grundlegende Anforderungen an die energetische Verwertung von biogenen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen..... | 28 |
| 4 Einsatz von Altholz zur Stromerzeugung | 31 |
| 4.1 <i>Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes</i> | <i>31</i> |
| 4.2 <i>Gesetzliche Rahmenbedingungen.....</i> | <i>31</i> |
| 4.3 <i>Markt- und Stoffstromerhebung</i> | <i>33</i> |
| 4.3.1 <i>Altholzaufkommen.....</i> | <i>33</i> |
| 4.3.2 <i>Altholznachfrage</i> | <i>37</i> |
| 4.3.3 <i>Außenhandel.....</i> | <i>42</i> |
| 4.3.4 <i>Altholzbilanz 2003</i> | <i>43</i> |
| 4.3.5 <i>Marktakteure und Marktsituation.....</i> | <i>44</i> |
| 4.4 <i>Ökonomische Aspekte.....</i> | <i>46</i> |
| 4.4.1 <i>Preissituation</i> | <i>46</i> |
| 4.4.2 <i>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Stromerzeugung.....</i> | <i>48</i> |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.5 | <i>Abschätzung zukünftiger Entwicklungen</i> | 58 |
| 4.5.1 | Gesetzliche Randbedingungen | 58 |
| 4.5.2 | Altholzaufkommen und -verfügbarkeit..... | 59 |
| 4.5.3 | Altholznachfrage | 61 |
| 4.6 | <i>Zusammenfassung</i> | 63 |
| 5 | Einsatz tierischer Nebenprodukte zur Stromerzeugung | 65 |
| 5.1 | <i>Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes</i> | 65 |
| 5.2 | <i>Gesetzliche Rahmenbedingungen</i> | 66 |
| 5.3 | <i>Markt- und Stoffstromerhebung</i> | 70 |
| 5.3.1 | Aufkommen an Rohmaterial im Bundesgebiet..... | 70 |
| 5.3.2 | Produkte, deren Nutzung- und Verwertungspfade..... | 73 |
| 5.3.3 | Regionale und überregionale Stoffströme..... | 78 |
| 5.4 | <i>Ökonomische Aspekte</i> | 82 |
| 5.4.1 | Preissituation | 83 |
| 5.4.2 | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Stromerzeugung..... | 84 |
| 5.5 | <i>Kumulierter Primärenergieaufwand und treibhausgasrelevante Aspekte</i> | 89 |
| 5.5.1 | Methodik der Ökobilanzierung | 89 |
| 5.5.2 | Systemannahmen und Systemgrenzen | 90 |
| 5.5.3 | Ergebnisse | 93 |
| 5.6 | <i>Abschätzung zukünftiger Entwicklungen</i> | 95 |
| 5.7 | <i>Zusammenfassung</i> | 96 |
| 6 | Einsatz von Bioabfällen zur Stromerzeugung | 97 |
| 6.1 | <i>Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes</i> | 97 |
| 6.2 | <i>Gesetzliche Rahmenbedingungen</i> | 99 |
| 6.2.1 | Definitionen..... | 99 |
| 6.2.2 | Vergütung der Stromerzeugung aus Bioabfällen | 99 |
| 6.2.3 | Exkurs: Diskussionen zur Vergütung von Strom aus Bioabfällen als Bestandteil von Siedlungsmischabfällen..... | 100 |
| 6.2.4 | Abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen im Kontext der Bioabfallverwertung..... | 101 |
| 6.2.5 | Genehmigungsrechtliche und technische Aspekte der Bioabfallverwertung. | 102 |
| 6.3 | <i>Markt- und Stoffstromerhebung</i> | 104 |
| 6.3.1 | Bundesweites Aufkommen an Bioabfall..... | 104 |
| 6.3.2 | Länderspezifisches Aufkommen an Bioabfall | 107 |
| 6.3.3 | Anlagen zur Bioabfallverwertung | 110 |
| 6.3.4 | Überregionale Verwertungswege..... | 116 |
| 6.3.5 | Stoffliche Verwertung der erzeugten Produkte | 116 |
| 6.3.6 | Neue technische Ansätze..... | 118 |
| 6.3.7 | Ergebnisse der Befragung von Anlagenbetreibern..... | 119 |
| 6.3.8 | Stromerzeugung aus Bioabfall | 121 |
| 6.4 | <i>Ökonomische Aspekte</i> | 122 |
| 6.4.1 | Preissituation | 122 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.4.2 | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung..... | 125 |
| 6.5 | <i>Abschätzung zukünftiger Entwicklungen.....</i> | <i>131</i> |
| 6.6 | <i>Zusammenfassung</i> | <i>138</i> |
| 7 | Zweifelsfragen und Streitfälle der Biomasseverordnung..... | 141 |
| 8 | Umweltanforderungen der Biomasseverordnung..... | 146 |
| 8.1 | <i>Umweltaspekte der Energiebereitstellungsketten</i> | <i>146</i> |
| 8.1.1 | Stromerzeugung aus festen Bioenergieträgern..... | 146 |
| 8.1.2 | Stromerzeugung aus gasförmigen Bioenergieträgern | 154 |
| 8.1.3 | Biogas..... | 154 |
| 8.1.4 | Klär- und Deponiegase..... | 160 |
| 8.1.5 | Stromerzeugung aus flüssigen Bioenergieträgern..... | 163 |
| 8.2 | <i>Zündstrahl-BHKW für Biogas.....</i> | <i>168</i> |
| 8.3 | <i>Humusreproduktion vergorener und unvergorener Substrate.....</i> | <i>168</i> |
| 8.3.1 | Die Rolle der organischen Substanz im Boden..... | 169 |
| 8.3.2 | Humusabbau und -neubildung | 169 |
| 8.3.3 | Abbau durch anaerobe Vergärung..... | 171 |
| 8.3.4 | Vergleich des Humusreproduktionspotenzials durch die Biogasgewinnung in der Landwirtschaft..... | 171 |
| 8.3.5 | Kompostierung..... | 173 |
| 8.3.6 | Übergeordnete Stoffstrombetrachtung | 174 |
| 8.4 | <i>Zusammenfassung</i> | <i>174</i> |
| 9 | Schlussfolgerungen..... | 176 |
| | Literatur- und Referenzverzeichnis | 179 |
| | Abbildungs- und Tabellenverzeichnis | 189 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------|---|
| AltholzV | Altholzverordnung |
| AbfAblV | 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 |
| BiomasseV | Biomasseverordnung |
| BMELV | Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz |
| BMU | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit |
| BT | Bauteil |
| DT | Dampfturbine |
| EAV | Europäisches Abfallverzeichnis |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| EW | Einwohner |
| FB | Fragebogen |
| FM | Frischmasse |
| FS | Frischsubstrat |
| FWL | Feuerungswärmeleistung |
| GHDÜ | Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher |
| GuD | Gas- und Dampfturbinenkraftwerk |
| 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 |
| KW | Kraftwerk |
| 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 |
| RME | Rapsmethylester |
| SEBA | SEBA Hydrometrie GmbH |



| | |
|------|---|
| StBA | Statistisches Bundesamt |
| TA | Technische Anleitung |
| TASI | Technische Anleitung Siedlungsabfall |
| THG | Treibhausgase |
| UBA | Umweltbundesamt |
| VKS | Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e. V. |
| VKU | Verband Kommunaler Unternehmen e.V. |

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Zielstellung

Erneuerbare Energien und insbesondere Biomasse gelten als Hoffnungsträger, wenn es um eine zukünftig umwelt- und klimaverträgliche Energieversorgung geht. Deshalb wird ihr verstärkter Einsatz 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 % im Jahr 2000 auf 12,5 % im Jahr 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 Biomassennutzung wird das EEG durch die Biomasseverordnung (BiomasseV) ergänzt, die regelt, welche Stoffe und technischen Verfahren im Sinne des EEG anzuerkennen und welche Umwelanforderungen 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) mit der wissenschaftlichen Begleitung der Biomasse-Verordnung hinsichtlich ihrer Lenkungswirkung im Bereich der Stromerzeugung aus biogenen Brennstoffen beauftragt. Das Projekt startete im Oktober 2004 und hat eine Laufzeit von 26 Monaten. Die thematischen Schwerpunkte (Arbeitspakete) dieses Monitoringprojektes können der nachstehenden Grafik (Abbildung 1-1) entnommen werden.

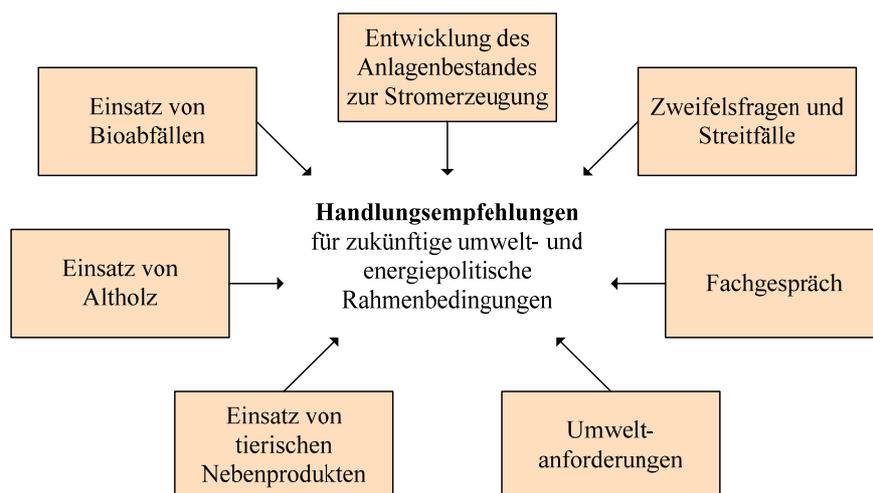


Abbildung 1-1: Übersicht der Projektinhalte

1.2 Generelle Methodik und Berichtsinhalte

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.

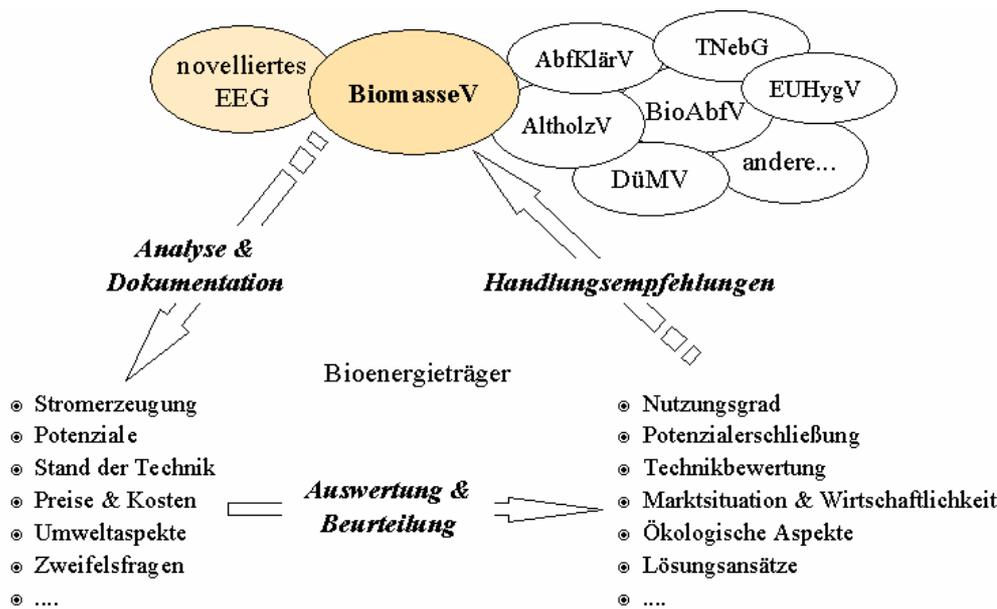


Abbildung 1-2: Generelle Herangehensweise

Dabei wird betrachtet, welche Anlagenkapazitäten errichtet worden und werden und welche Potentiale zur Verfügung stehen. Zudem sind die Bewertung der Biomassenutzung hinsichtlich wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte sowie die Zweifelsfragen und Umwelanforderungen hinsichtlich der energetischen Biomassenutzung zur Stromerzeugung Gegenstand der Betrachtungen.

Ausgehend von diesem Ansatz werden die Ergebnisse des Monitoringprojektes in einem umfangreichen Endbericht zusammengefasst. Dabei ist neben dem Monitoring zur Entwicklung des Anlagenbestandes zur Stromerzeugung aus festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern und einer Abschätzung der vermiedenen Treibhausgasemissionen (Kapitel 2) die detaillierte Betrachtung ausgewählter biogener Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle (Kapitel 3) Schwerpunkt.

Demnach werden für den Einsatz von Altholz (Kapitel 4), tierischen Nebenprodukten (Kapitel 5) und Bioabfällen (Kapitel 6) nicht nur die rechtlichen Rahmenbedingungen aufgezeigt, sondern auch relevante Märkte und Stoffströme sowie ökonomische Aspekte im Hinblick auf die gegenwärtige Preissituation für die verschiedenen Rohstoffe und die



Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung betrachtet. Für den Einsatz tierischer Nebenprodukte erfolgt darüber hinaus die Abschätzung ökologischer Effekte. Auf Basis der rechtlichen und marktrelevanten Rahmenbedingungen sowie der ökonomischen und ökologischen Aspekte erfolgt eine Abschätzung zukünftig möglicher Entwicklungen.

Aufbauend auf dem im Oktober 2005 beim Umweltbundesamt veranstalteten Fachgespräch zur energetischen Verwertung biogener Reststoffe und Nebenprodukte sowie während des Projektverlaufs eruierte Fragestellungen aus der Praxis bzw. konkreten Anfragen werden darüber hinaus Zweifelsfragen und Streitfälle im Zusammenhang mit der BiomasseV in Bezug auf das EEG diskutiert (Kapitel 7). Die für den Einsatz von biogenen Energieträgern zur Stromerzeugung verbundenen Umweltaspekte und daraus resultierende Mindeststandards werden in Kontext der in der BiomasseV vorgegebenen Umwelanforderungen erörtert (Kapitel 8).

Abschließend werden die sich aus den Ergebnissen der einzelnen Arbeitsschwerpunkte ableitenden Schlussfolgerungen (Kapitel 9) und daraus resultierenden Handlungsempfehlungen (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) für zukünftige umwelt- und energiepolitische Rahmenbedingungen gegeben.

2 Fortschreibung der Daten zur Stromerzeugung aus Biomasse

Bioenergieanlagen zur Stromerzeugung werden in allen Leistungsbereichen bis 20 MW_{el} und vereinzelt auch in größeren Leistungen betrieben. Als Anlagenbetreiber treten je nach Anlagenkonzept und Leistungsklasse vor allem kleine bis mittelständische Unternehmen sowie einzelne Großunternehmen (z. B. E.on, RWE), aber auch Privatpersonen auf. Mit der Einführung des EEG im Jahr 2000 erfolgte ein Durchbruch in der Bioenergienutzung zur Stromerzeugung, da Investoren durch den wirtschaftlichen Anreiz der EEG-Vergütungssätze sich gezielt mit dem Einsatz von Bioenergieträgern befassten.

Die mit der Novellierung des EEG im Jahr 2004 angepassten Mindestvergütungssätze und zusätzlichen Boni für den Einsatz von naturbelassener bzw. nachwachsender Rohstoffe (NawaRo), von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) sowie 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 etc.). Alle Daten sind in einer internen Datenbank archiviert.

Nachfolgend wird ein Überblick zum aktuellen Stand (Jahresende 2006) der Stromerzeugung aus Festbrennstoffen, Biogas und Pflanzenöl gegeben. Für nähere Details zum Stand der technischen Entwicklung 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 /170/. Darüber hinaus wird innerhalb des deutschen Strommixes der Beitrag dieser Bioenergieanlagen zum Klimaschutz abgeschätzt.

2.1 Feste Bioenergieträger

2.1.1 Anlagenbestand

Der derzeit bekannte Anlagenbestand aller in Betrieb befindlicher Biomasse(heiz)kraftwerke in Deutschland ist in Abbildung 2-1 dargestellt¹. Während Ende 2005 etwa 143 **Biomasse(heiz)kraftwerke** betrieben wurden, die ausschließlich mit festen Biomassen gemäß BiomasseV befeuert werden, sind aktuell bereits **162** (Stand Ende 2006) Anlagen in Betrieb. Mindestens 20 weitere Anlagen befinden sich derzeit im Bau und streben die erste

¹ ohne Anspruch auf Vollständigkeit

Stromeinspeisung bis Jahresende 2007 an. Dabei handelt es sich vor allem um eine Vielzahl von ORC-Anlagen im Leistungsbereich $< 2 \text{ MW}_{\text{el}}$. Des Weiteren gibt es für das Jahr 2007 und darüber hinaus Planungen für Anlagen, deren Realisierung derzeit jedoch noch unsicher ist, da sich die Bioenergieanlagen noch in der Planungs- oder Genehmigungsphase befinden. Um die Wirtschaftlichkeit von Anlagenkonzepten zu erreichen, versuchen viele Investoren Projekte im mittleren Leistungsbereich (bis 5 MW_{el}) mit verstärkter Wärmenutzung und 100 % Waldholzeinsatz zu verwirklichen (Anspruch auf NawaRo-Bonus). Häufig scheidet dies jedoch an fehlenden Wärmekonsumenten bzw. zu hohen Brennstoffbereitstellungskosten, und es wird auf einen Mix von Industrierestholz und Waldholz ausgewichen. Weiterhin gilt großes Interesse den Vergasungsanlagen, deren Projektrealisierung jedoch trotz der in Betriebnahme erster Pilotanlagen unter ökonomischen Gesichtspunkten - trotz der Möglichkeit der Inanspruchnahme des Technologiebonus – weiterhin kritisch betrachtet wird.

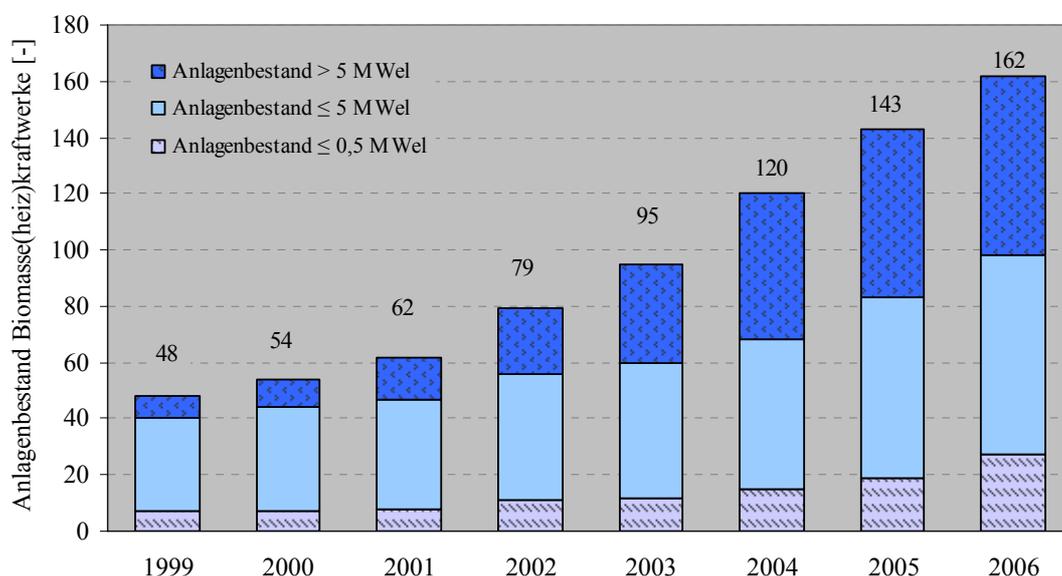


Abbildung 2-1: Anlagenbestand aller in Betrieb befindlichen Biomasse(heiz)kraftwerke

Der Anteil der in Betrieb befindlichen Biomasse(heiz)kraftwerke im Leistungsbereich kleiner $0,5 \text{ MW}_{\text{el}}$ am gesamten Anlagenbestand beträgt aktuell etwa 17 %, während die beiden Leistungsbereiche kleiner 5 MW_{el} (aber größer als $0,5 \text{ MW}_{\text{el}}$) und größer 5 MW_{el} mit 40 bzw. 44 % in etwa zu gleichen Teilen vertreten sind. Zu letzterem zählen vier Papierfabriken (Stendal, Blankenstein, Schwedt, Schongau), die nicht den Regelungen des EEG unterliegen und anteilig eine installierte elektrische Leistung von etwa $160 \text{ MW}_{\text{el}}$ aufweisen.

Es wird deutlich, dass sich seit dem Jahr 2000 – im Wesentlichen als Folge der Anreizwirkungen des EEG – die Anzahl der Biomasseverstromungsanlagen auf Festbrennstoffbasis nahezu verdreifachte. Allein seit dem Jahr 2004 (Inkrafttreten der Novellierung des EEG) wurden etwa 67 neue Biomasse(heiz)kraftwerke in Betrieb genommen, darunter 13 Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von $20 \text{ MW}_{\text{el}}$.

Die regionale Verteilung der Anlagen in Deutschland ist in Abbildung 2-2 dargestellt. Über 23 % der Biomasse(heiz)kraftwerke (37 Anlagen) befinden sich in Bayern, gefolgt von Baden-Württemberg (23 Anlagen) sowie Nordrhein-Westfalen und Brandenburg (mit 18 bzw. 16 Anlagen). Der prozentuale Anteil der einzelnen Bundesländer am Anlagenbestand ist auch aus Abbildung 2-4 ersichtlich.

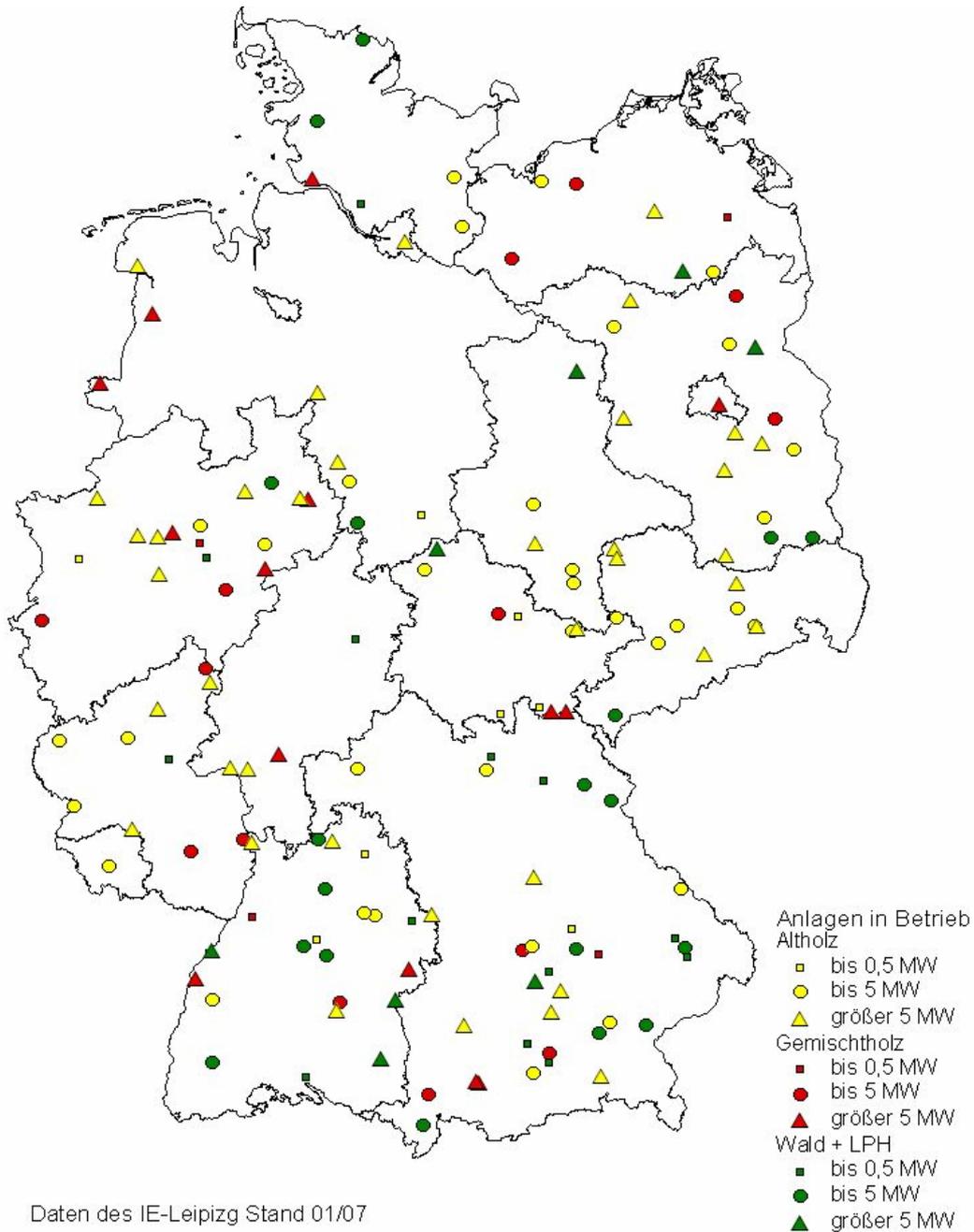


Abbildung 2-2: Standort, Leistungs- und Brennstoffklasse von Biomasse(heiz)kraftwerken in Deutschland

2.1.2 Installierte elektrische Leistung

Die installierte elektrische Leistung der 162 Biomasse(heiz)kraftwerke beträgt insgesamt ca. **1.094 MW_{el}** (Stand Dezember 2005: 1.011 MW_{el}), wobei allein seit dem Jahr 2004 rund 568 MW_{el} (davon allein 100 MW_{el} durch das Zellstoffwerk Stendal) neu in Betrieb genommen wurden (Abbildung 2-3). Der bereitgestellte Anteil von Anlagen im Leistungsbereich über 5 MW_{el} beträgt 84 %, der Anteil der Anlagen kleiner/gleich 0,5 MW_{el} an der Gesamtleistung ist vernachlässigbar gering (rund 1 %).

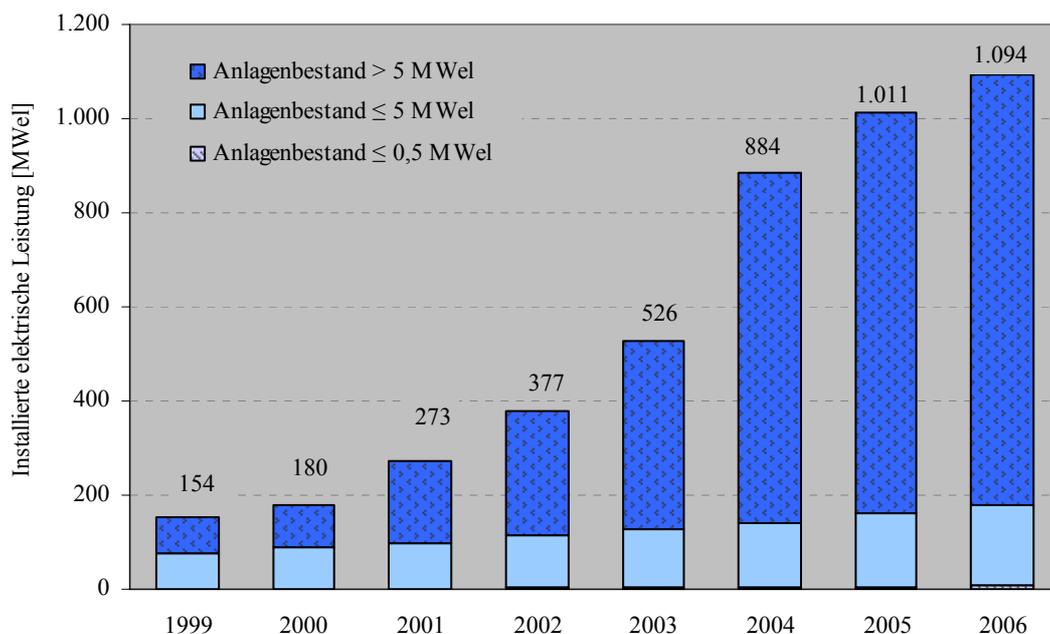


Abbildung 2-3: Installierte elektrische Leistung der Biomasse(heiz)kraftwerke aller in Betrieb befindlichen Anlagen

Den größten Anteil an der installierten elektrischen Leistung haben aktuell Nordrhein-Westfalen (153 MW_{el}) und Brandenburg (150 MW_{el}). Das Verhältnis von Anlagenanzahl und installierter elektrischer Leistung (d. h. die durchschnittlich installierte elektrische Leistung) ist in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich (Abbildung 2-4). So hat beispielsweise Sachsen-Anhalt am Anlagenbestand nur einen Anteil von 3,3 %, durch das große Kraftwerk im Zellstoffwerk Stendal, bei der installierten elektrischen Leistung jedoch einen Anteil von etwa 10 %. Im Vergleich dazu stehen den bayerischen Biomasse(heiz)kraftwerken mit einem Anteil von 23 % an der Anlagenanzahl nur ein Anteil von 12 % an der installierten elektrischen Leistung gegenüber.

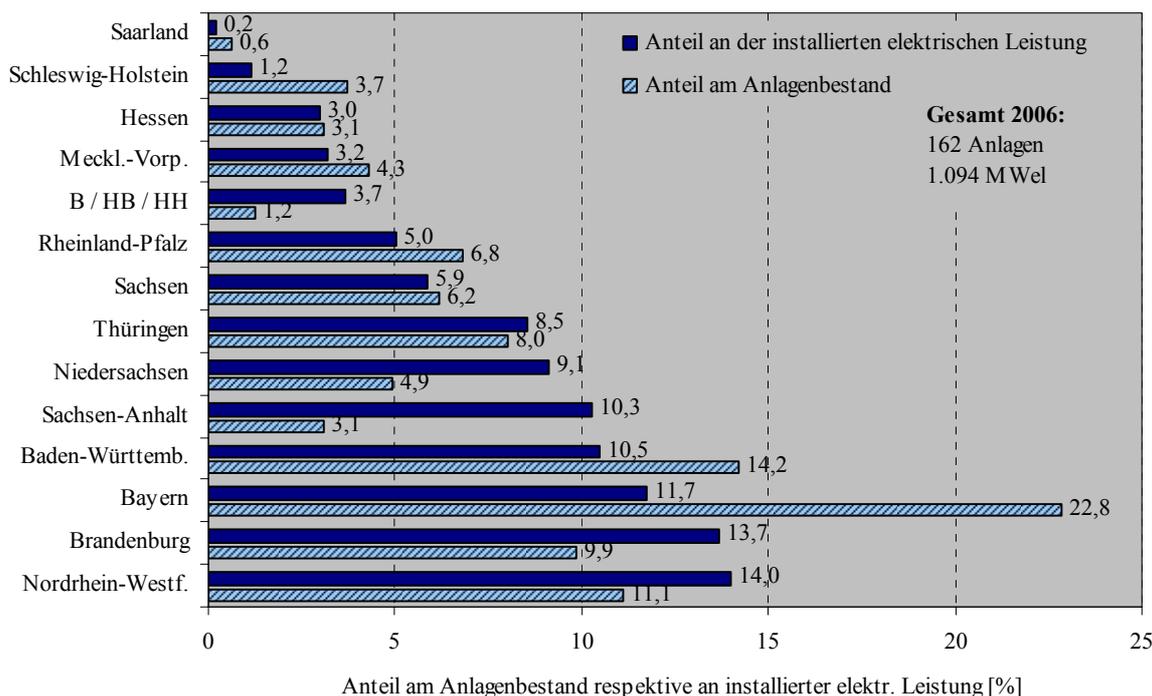


Abbildung 2-4: Anteil der Bundesländer am Anlagenbestand und an der installierten elektrischen Leistung der Biomasse(heiz)kraftwerke

2.1.3 Stromerzeugung

Die potenzielle Stromerzeugung wird, auf Basis des aktuellen Anlagenbestandes sowie unter Berücksichtigung mittlerer Volllaststunden, für das Jahr 2006 mit etwa **6,4 TWh_{el}** brutto (Stand Ende 2005 rund 5,8 TWh_{el}) abgeschätzt² (Abbildung 2-5); inklusive der genannten Papierfabriken mit etwa 7,6 TWh_{el}/a. Die realisierte Stromerzeugung aus Biomassefestbrennstoffen lag im Jahr 2006 aufgrund der im Jahresverlauf erfolgten Inbetriebnahmen und der damit deutlich geringeren Betriebsstunden bei etwa 7,2 TWh_{el}³ (ohne die Papierfabriken bei 6,1 TWh_{el}).

Während Anlagen im kleinem bis mittlerem Leistungsbereich i. d. R. wärmegeführt arbeiten, ist die Betriebsweise von Biomasse(heiz)kraftwerken im Leistungsbereich bis 20 MW_{el} i. d. R. stromgeführt (eine Ausnahme können hier Industriekraftwerke darstellen). Dies liegt vor allem darin begründet, dass es sehr schwierig ist, geeignete oder ausreichend große Wärmekonsumenten am Standort der Biomasseanlage zu akquirieren.

² 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.

³ Dabei wurden für Neuanlagen (2006 in Betrieb genommen) folgende mittlere Volllaststunden angenommen: Anlagen im kleinen Leistungsbereich ($\leq 0,5$ MW_{el}): 1.700 h/a; Anlagen im mittleren Leistungsbereich (≤ 5 MW_{el}): 2.700 h/a; Anlagen im großen Leistungsbereich (> 5 MW_{el}): 5.000 h/a.

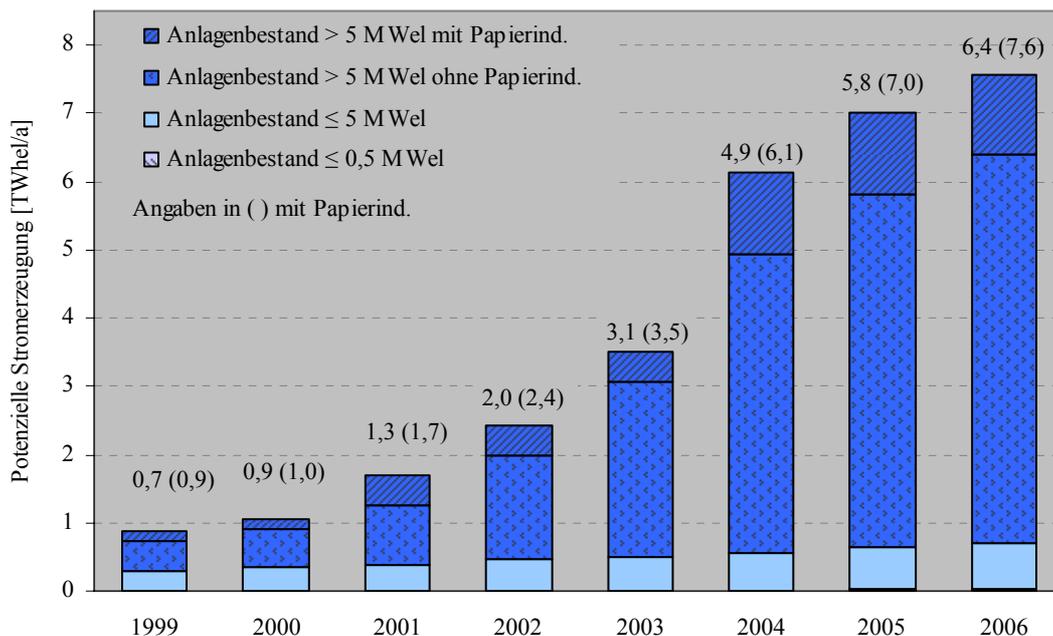


Abbildung 2-5: Potenzielle Stromerzeugung aller in Betrieb befindlichen Biomasse(heiz)kraftwerke in Deutschland

2.1.4 Brennstoffeinsatz

Der Brennstoffeinsatz aller derzeit in Betrieb befindlichen Biomasse(heiz)kraftwerke beträgt ohne die Papierindustrie potenziell etwa 8,5 Mio. t/a bzw. 115 PJ (Stand Ende 2005: 7,8 Mio. t/a bzw. 105 PJ/a)⁴. Wegen der im Jahresverlauf 2006 erfolgten Neuinstallationen wird die tatsächlich eingesetzte Brennstoffmenge aller Anlagen im Jahr 2006 mit einer Größenordnungen zwischen 106 und 110 PJ eingeschätzt. Die Papierindustrie wird dabei nicht berücksichtigt, da hier v. a. Schwarzlauge (Restprodukt der Zellstoff- und Papierherstellung) energetisch genutzt wird. Ermittelt man die Anteile der in den Biomasse(heiz)kraftwerken eingesetzten Holzfraktionen (nur als grobe Abschätzung möglich), so ergeben sich deutliche Unterschiede bei den Anlagengrößen (Abbildung 2-6). Während in Anlagen kleiner/gleich 0,5 MW_{el} zunehmend Landschaftspflege- und Waldrestholz (40 %) zum Einsatz kommt, dominiert in größeren Anlagen und dadurch auch im gesamten Anlagenbestand mit etwa 51 % Altholz (2005 noch 64 %). Wobei auch in der Leistungsklasse > 0,5 MW_{el} ein klarer Trend zum vermehrten Einsatz von naturbelassenen Hölzern erkennbar ist. Die alleinige Nutzung von Landschaftspflege- und Waldrestholz ist hier jedoch gering. Stroh und andere halmgutartige Brennstoffe finden bisher wegen ihren ungünstigen Brennstoffeigenschaften kaum Verwendung.

⁴ Die Mengenabschätzung erfolgte aus Angaben der Betreiber bzw. wurde anhand der installierten elektrischen Leistung ermittelt.

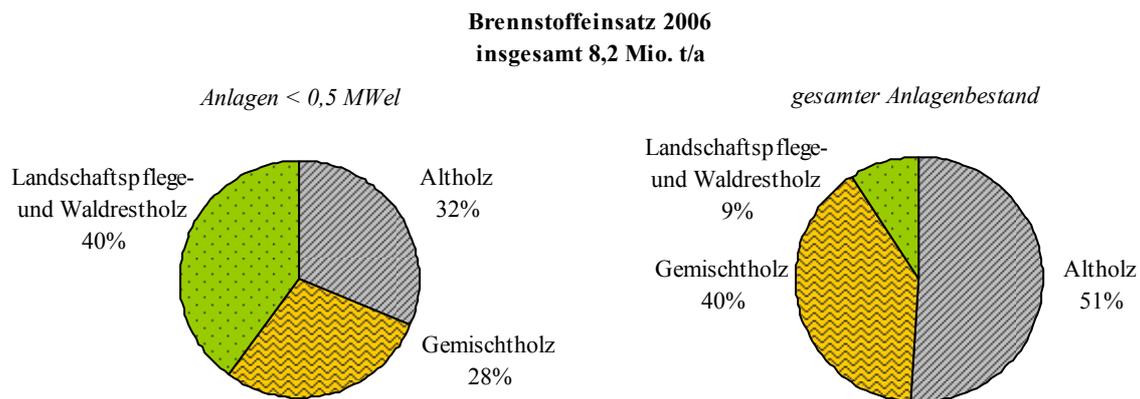


Abbildung 2-6: Aktueller Brennstoffeinsatz der derzeit in Betrieb befindlichen Biomasse(heiz)kraftwerke (Stand November 2006)

Bei gleich bleibenden Rahmenbedingungen wird davon ausgegangen, dass Biomasse(heiz)kraftwerke mit Altholzeinsatz die auf dem deutschen Markt zur Verfügung stehenden Altholzmengen bereits nahezu vollständig nutzen bzw. vertraglich gesichert haben und deshalb keine weiteren Biomasse(heiz)kraftwerke - insbesondere im größeren Leistungsbereich (20 MW_{el}) - mehr geplant werden.

Für die Stromerzeugung aus 100 % Waldrestholzeinsatz sind gegenwärtig eingeschränkte Aktivitäten zu verzeichnen, da die zusätzlichen Brennstoffbereitstellungskosten insbesondere für kleine und mittlere Anlagen meist deutlich höher als die zusätzliche NawaRo-Vergütung sind. Nur unter günstigen Rahmenbedingungen ist in diesem Leistungsbereich bei einer Vollkostenrechnung eine Anlagenrealisierung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nachvollziehbar. Anlagen im großen Leistungsbereich stehen vor der schwierigen Aufgabe ausreiche Holzkontingente langfristig vertraglich zu sichern. Vereinzelt, d. h. bei sehr günstiger Brennstoffversorgung und umfassender Wärmeabnahme, können Anlagen im kleinen und mittleren Leistungsbereich rentabel sein. Bezogen auf die installierte Leistung ist der erwartete Zubau auf diesem Gebiet jedoch nicht mehr vergleichbar und von eher untergeordneter Bedeutung.

2.2 Flüssige Bioenergieträger

2.2.1 Anlagenbestand

Die Preisentwicklung fossiler Kraft-/Treibstoffe und verbesserte Vergütungssituation des novellierten EEG haben zu einem verstärkten Interesse an der Strom- und Wärmeabgewinnung aus pflanzlichen Ölen geführt. Ging man Anfang für das Jahr 2003 von einem Bestand an Blockheizkraftwerken (BHKW) von etwa 150 Anlagen aus, die Pflanzenöl einsetzen, und etwa 10 Anlagen, die Biodiesel (RME) einsetzen, hat sich seitdem die Anzahl der installierten Anlagen deutlich erhöht. Der zum Jahresanfang 2007 über eine Datenerhebung ermittelte installierte Anlagenbestand betrug etwa **1.800 Pflanzenöl-BHKW** (Abbildung 2-7).

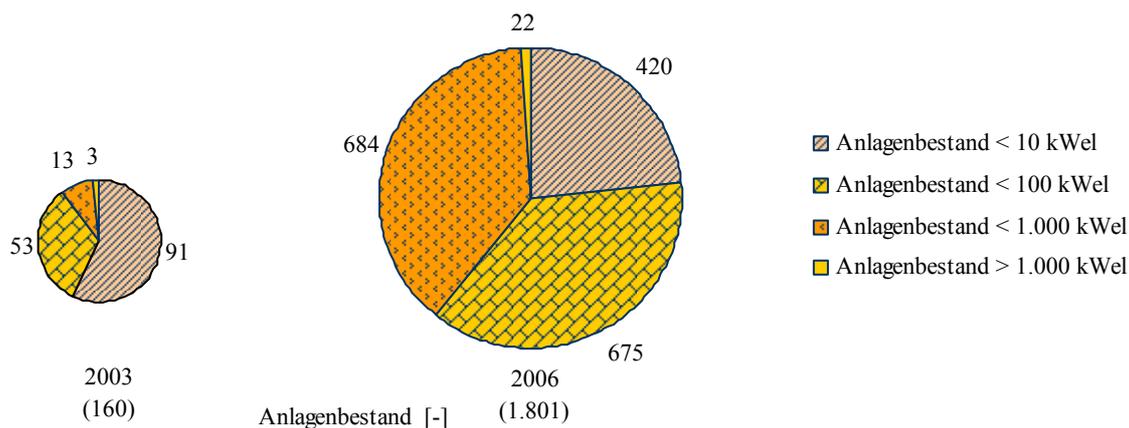


Abbildung 2-7: Anlagenbestand der Pflanzenöl-BHKW für 2003 (inkl. RME-BHKW) und 2006 (Stand der Datenerhebung im Januar 2007)

Eine Einordnung hinsichtlich der regionalen Verteilung von mit Pflanzenöl betriebenen BHKW bleibt aufgrund der nicht erfassbaren Standorte schwierig. Anlagen im großen Leistungsbereich mit einem hohen Jahresverbrauch an pflanzlichen Ölen setzen zumeist importierte Palmöle, die von den Häfen zu den Anlagen transportiert werden müssen, weshalb eine logistisch gute Anbindung vorteilhaft (Bahn- bzw. Binnenschiffanbindung) ist. Da der wirtschaftliche Betrieb an die nahezu vollständige Wärmenutzung gekoppelt ist, wird die Standortwahl im Regelfall primär durch den Wärmeabnehmer bestimmt. Für Anlagen im kleinen Leistungsbereich hingegen, in denen fast ausschließlich Rapsöl eingesetzt wird, bauen sich zumeist regionale Absatzstrukturen (z. B. Bayern und Baden-Württemberg mit hoher Dichte an dezentralen Pflanzenölmühlen) auf.

Im Hinblick auf die eingesetzte Anlagentechnik erfolgt im kleinen und mittleren Leistungsbereich vornehmlich die Anpassung industrieller Dieselmotoren an den Betrieb mit Pflanzenöl. Serienmotoren für reinen Pflanzenölbetrieb werden im mittleren und hohen Leistungsbereich angeboten.

2.2.2 Installierte elektrische Leistung

Die installierte Gesamtleistung aller in Betrieb befindlichen Pflanzenöl-BHKW betrug zum Jahresende 2006 ca. **237 MW_{el}**. Mehr als 55 % der erfassten Anlagen sind im Leistungsbereich von 100 bis 1.000 kW_{el} anzusiedeln (Abbildung 2-8).

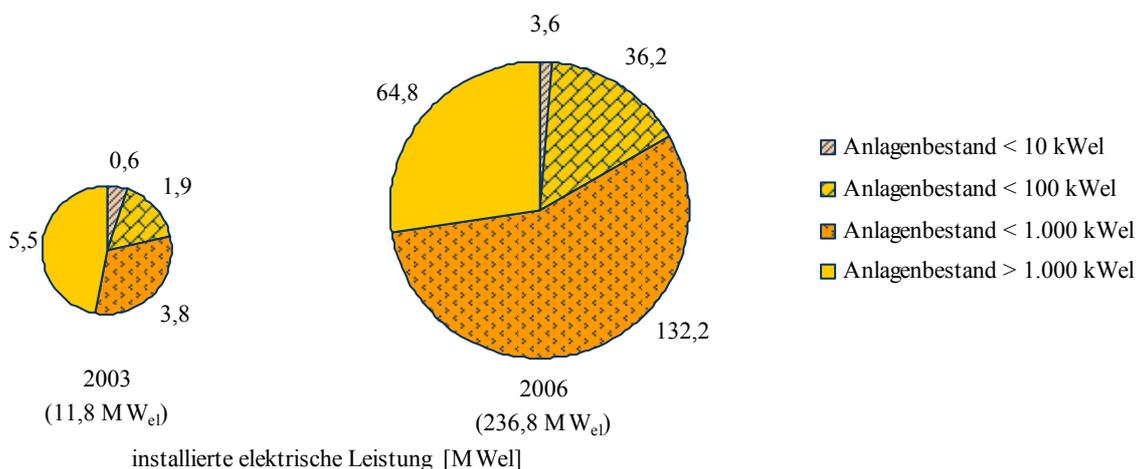


Abbildung 2-8: Installierte elektrische Leistung Pflanzenöl-BHKW für 2003 (inkl. RME-BHKW) und 2006 (Stand der Datenerhebung im Januar 2007)

Die durchschnittliche installierte Anlagenleistung betrug zum Jahresende 2006 ca. 130 kW_{el}. Dabei werden Kleinanlagen (insbesondere von privaten Betreibern im Leistungsbereich bis 30 bis 50 kW_{el}) vorrangig wärmegeführt installiert. 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. Die in Summe der installierten Wärmeleistung Ende 2006 kann auf etwa 292 MW_{th} abgeschätzt werden, wobei entsprechend der installierten elektrischen Leistung ein Großteil auf Anlagen von bis zu 1.000 kW_{el} entfällt.

Mit Bezug auf die o. g. rasante Marktentwicklung ist allerdings deutlich zu erkennen, dass die installierte Leistung je Anlage stark zunimmt. So werden von einer Vielzahl von Stadtwerken, Planungsbüros sowie kleineren Unternehmen Anlagen im Leistungsbereich von 100 bis 1.000 kW_{el} zur Beheizung von beispielsweise Krankenhäusern und Schwimmbädern oder im Leistungsbereich von 1 bis 5 MW_{el} zur Einspeisung der Wärme ins Nahwärmenetz oder zur Versorgung großer Industrieunternehmen geplant. Die größten Pflanzenöl-BHKW in Deutschland haben derzeit eine Anlagengröße von 5.000 bis 6.000 kW_{el}, wobei sich verschiedene Anlagen über 15.000 kW_{el} in Planung befinden. Die weitere Marktentwicklung ist jedoch aufgrund der großen Abhängigkeit von der Entwicklung der Rohstoffpreise schwer prognostizierbar, unter der Annahme gleich bleibender Rohstoffpreise ist mittelfristig ein jährliches Wachstum der installierten Kapazität von über 100 MW_{el} möglich.

2.2.3 Stromerzeugung

Unter Annahme mittlerer Volllaststunden⁵ kann die jährliche potenzielle Stromerzeugung für das Jahr 2006 aus pflanzenölbasierten BHKW mit ca. 1.630 GWh_{el}/a abgeschätzt werden. Gegenüber dem Jahr 2003 (ca. 82 GWh_{el}/a) entspricht dies einer Erhöhung um das ca. Zwanzigfache (Abbildung 2-9).

⁵ 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

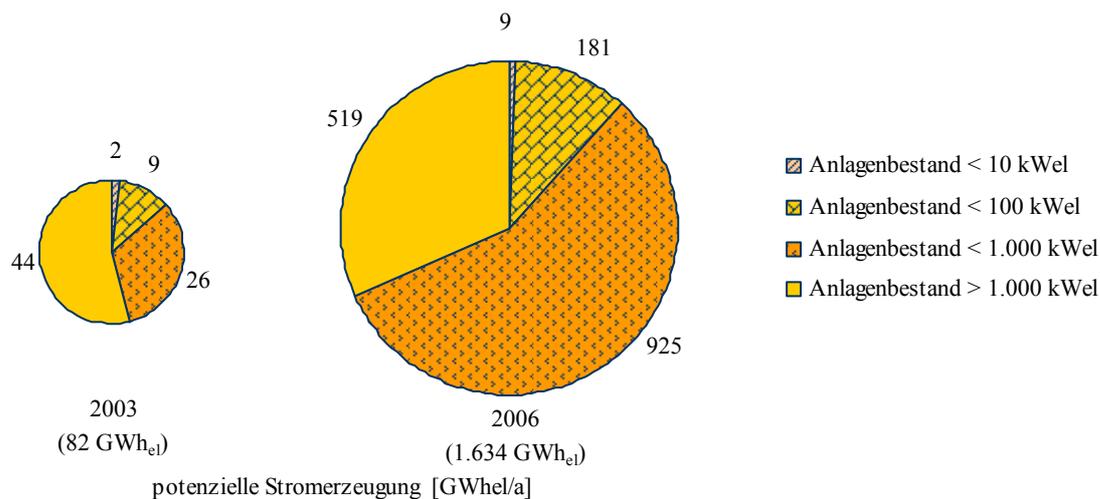


Abbildung 2-9: Potenzielle Stromerzeugung Pflanzenöl-BHKW für 2003 (inkl. RME-BHKW) und 2006 (Stand der Datenerhebung im Januar 2007)

Die gleichzeitig produzierte potenzielle Wärmemenge kann für das Jahr auf Basis mittlerer Volllaststunden Wärme⁶ mit ca. 1.710 GWh_{th}/a abgeschätzt werden.

2.2.4 Brennstoffeinsatz

Während bei privaten BHKW-Betreibern im kleinen Leistungsbereich (bis etwa 50 kW_{el}) zumeist kaltgepresstes sowie raffiniertes Rapsöl eingesetzt wird, finden im mittleren und größeren Leistungsbereich aus wirtschaftlichen Gründen zumeist Soja- und insbesondere Palmöl Verwendung. In Summe entspricht dies einem potenziellen Brennstoffeinsatz an Pflanzenölen von etwa **15 PJ** bzw. 400 kt im Jahr 2006, wobei allein etwa 360 kt/a auf Palmöl entfallen.

Der Einsatz von Biodiesel in Stationäranlagen ist aus ökonomischen Gründen im Regelfall keine Option mehr, zumal Biodiesel in neu installierten Anlagen nicht mehr nach EEG vergütungspflichtig ist⁷. Flüssigtreibstoffe wie Bioethanol kommen ebenso nicht zum Einsatz.

2.3 Gasförmige Bioenergieträger

2.3.1 Anlagenbestand

Seit dem Start des Marktanzreizprogramms (MAP) und dem Inkrafttreten des EEG bis zur Novellierung des EEG Mitte 2004 war eine relativ kontinuierliche Zunahme der in Betrieb genommenen Biogasanlagen zu verzeichnen; ab 2004 erfuhr die Biogasbranche einen wahren Boom. Ausgehend von etwa 850 Biogasanlagen Ende 1999 hat sich deren Anzahl bis Ende 2006 inzwischen auf rd. **3.300 Anlagen** nahezu vervierfacht. Insgesamt gingen 2006 mehr als

⁶ Annahme mittlere Volllaststunden Wärme Anlagen bis 10 kW_{el}: 2.500 h/a; bis 100 kW_{el}: 4.500 h/a; bis 1.000 kW_{el}: 6.000 h/a, größer 1.000 kW_{el}: 6.800 h/a]

⁷ Biodiesel wird teils allerdings zum An- und Abfahren von pflanzenölbetriebener BHKW verwendet, da nach dem 31. Dezember 2006 ausschließlich nur biogene Brennstoff in Biomasseanlagen nach EEG verwendet werden dürfen.

600 Anlagen vorwiegend im landwirtschaftlichen Bereich in Betrieb (Abbildung 2-10). Damit ist hier sehr deutlich die positive Wirkung der Novellierung des EEG 2004 zu erkennen.

Die Differenzierung der Biogasanlagen nach den drei Leistungsklassen ($< 70 \text{ kW}_{\text{el}}$, $70 \text{ bis } 500 \text{ kW}_{\text{el}}$ sowie $> 500 \text{ kW}_{\text{el}}$) für das Jahr 2005 beruht auf Abschätzungen der Marktentwicklungen und Umfrageergebnissen. Für das Jahr 2006 ist diese Einteilung derzeit noch nicht möglich. Tendenziell werden jedoch zunehmend Anlagen im größeren Leistungsbereich (oberhalb von $70 \text{ kW}_{\text{el}}$) neu installiert. Insbesondere die Inbetriebnahme von Biogasanlagen über $500 \text{ kW}_{\text{el}}$ wirken sich erheblich auf die installierte elektrische Leistung aus (siehe Abschnitt 2.3.2). Der Bestand an Biogasanlagen im kleinen Leistungsbereich ($< 70 \text{ kW}_{\text{el}}$) ist aufgrund von zahlreichen Anlagenerweiterungen dagegen eher rückgängig. Eine abgesicherte Aussage zur Verteilung der Größenklassen kann jedoch aufgrund fehlender Detailinformationen derzeit nicht abschließend erfolgen. Derzeit befinden sich nach Aussagen der Umwelt- und Landwirtschaftsministerien der Bundesländer sowie der Anlagenhersteller eine erhebliche Anzahl von Biogasanlagen in der Bau- und Genehmigungsphase. Aufgrund der starken Nachfrage ist davon auszugehen, dass sich der Trend sowohl in Bezug auf die Anlagenzahl als auch auf die Anlagengröße weiter fortsetzen wird.

Um die Entwicklung und den aktuellen Stand der Biogasbranche jederzeit genau verfolgen und abbilden zu können, zeigt sich gerade vor dem Hintergrund der stark zunehmenden Zahl und Verschiedenartigkeit der Akteure, dass ein zuverlässiges Anlagenkataster, das in Betrieb befindliche Anlagen erfasst, äußerst sinnvoll wäre. Durch Fortschreibung und Aktualisierung der Biogas-Datenbank am Institut für Energetik und Umwelt wird mit Unterstützung verschiedener Verbände, Biogasberater und Vertreter der Länderministerien eine nahezu vollständige Erfassung des Biogasanlagenbestandes angestrebt.

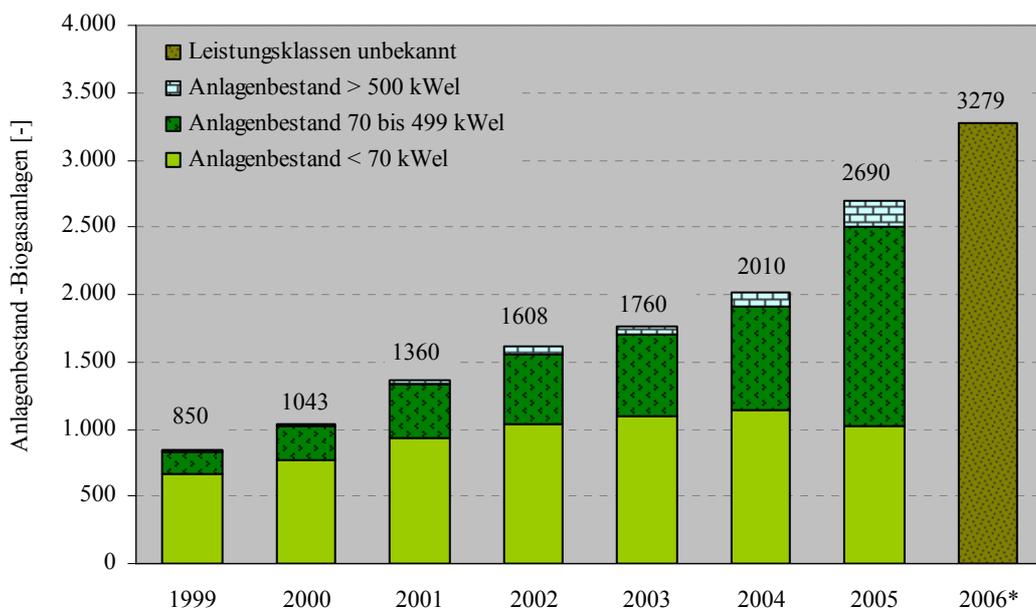


Abbildung 2-10: Anlagenbestand der Biogasanlagen (Stand Dezember 2006; *Leistungsklassen gegenwärtig noch nicht abschätzbar)

Hinsichtlich der eingesetzten Anlagentechnik zur Biogaserzeugung findet in der Praxis überwiegend die Nassfermentation Anwendung. Die Vergärung stapelbarer Biomassen mit hohen TS-Gehalten (u. a. Einsatz nachwachsender Rohstoffe sowie Bioabfälle) in sog. Trockenfermentationsanlagen gewann mit der Einführung des Technologie-Bonusses an Bedeutung. Zur Verstromung des Biogases kommen vorwiegend Zündstrahl- und Gasmotor-BHKW zum Einsatz. Neben Anlagen zur Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität zur Einspeisung ins Erdgasnetz respektive zur Nutzung als Biokraftstoff befinden sich ebenfalls ORC-Anlagen für die Nutzung der bei der Verstromung des Biogases im BHKW anfallenden Abwärme in der Planungsphase.

Die Verteilung der landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Deutschland ist in Abbildung 2-11 dargestellt⁸. Die meisten Biogasanlagen werden in Bayern (ca. 1.000 Anlagen), Niedersachsen (ca. 500 Anlagen) sowie Baden-Württemberg (ca. 460 Anlagen) betrieben. Die Anteile der einzelnen Bundesländer am gesamten Anlagenbestand sind auch aus Abbildung 2-15 ersichtlich.

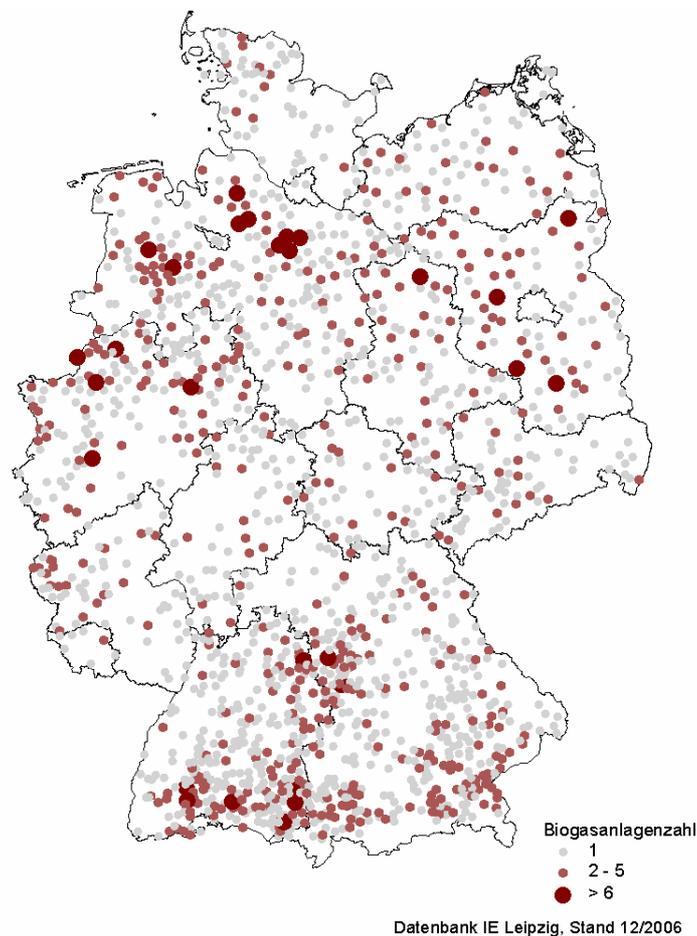


Abbildung 2-11: Landwirtschaftliche Biogasanlagen in Deutschland

⁸ Die Darstellung hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da nicht alle geführten Biogasanlagen mit der entsprechenden elektrischen Leistung benannt werden konnten.

2.3.2 Installierte elektrische Leistung

Die gesamte installierte Anlagenleistung der zum Jahresende 2006 in Betrieb befindlichen Biogasanlagen beträgt etwa 950 MW_{el} (Stand Dezember 2005: 665 MW_{el}). Da einige Bundesländer nur landwirtschaftliche Biogasanlagen erfassen konnten und der Anteil an Abfallanlagen nur teilweise berücksichtigt wurde, ist von einer insgesamt höheren Anlagenleistung von **rd. 1 000 MW_{el}** auszugehen. Den größten Anteil daran haben mit zwei Dritteln Anlagen im Leistungsbereich zwischen 70 und 500 kW_{el}, der kleinste Anteil ist im Leistungsbereich kleiner 70 kW_{el} zu verzeichnen. Auch hier ist, noch deutlicher als beim Anlagenbestand, ein deutlicher Leistungszuwachs im Jahr 2006 infolge der EEG Novelle 2004 zu erkennen (Abbildung 2-12).

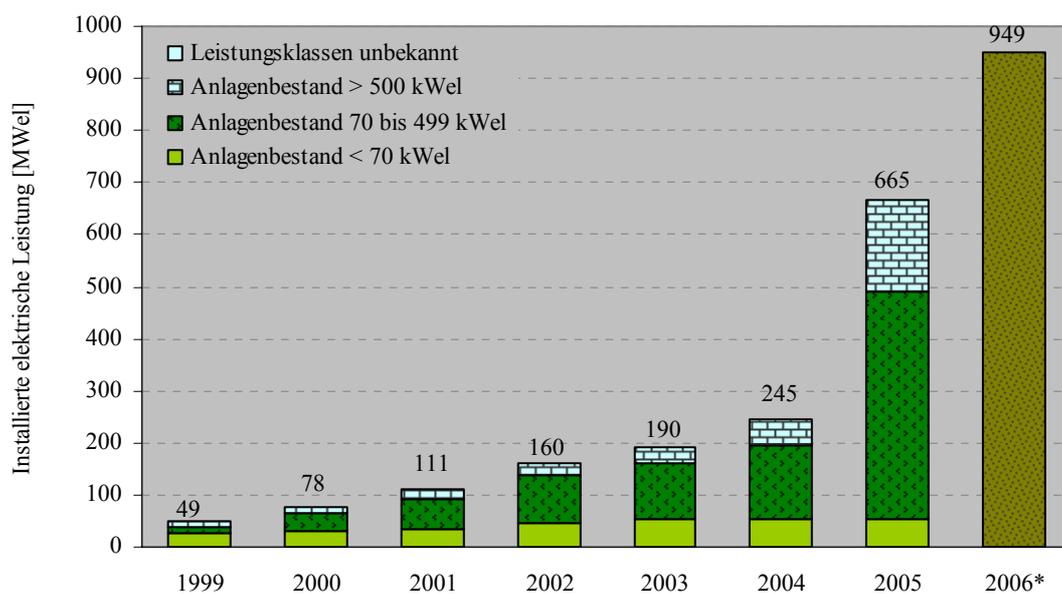


Abbildung 2-12: Installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen (Stand Dezember 2006; *Leistungsklassen gegenwärtig noch nicht abschätzbar)

Aufgrund des Trends hin zu größeren Biogasanlagen – sei es durch Neubau oder Erweiterung bestehender Anlagen – verschiebt sich die durchschnittliche installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen ebenfalls deutlich nach oben. Betrag der Durchschnitt 1999 noch rund 60 kW_{el}, so stieg er 2004 auf rund 125 kW_{el} und 2005 auf 250 kW_{el} (Abbildung 2-14); für 2006 sind es rund 290 kW_{el}. Bezogen auf die Bundesländer zeigen sich hier wie in den Vorjahren allerdings deutliche Unterschiede, die im Wesentlichen in den stark abweichenden Agrarstrukturen begründet sind. Dabei betreiben die großen Agrarbetriebe in den neuen Bundesländern durchschnittlich Biogasanlagen mit sehr hoher Leistung, wobei in den südlichen Bundesländern aufgrund der Dominanz von Familienbetrieben und auch aufgrund der historisch sehr großen Anzahl sehr kleiner Biogasanlagen relativ kleine Anlagen betrieben werden.

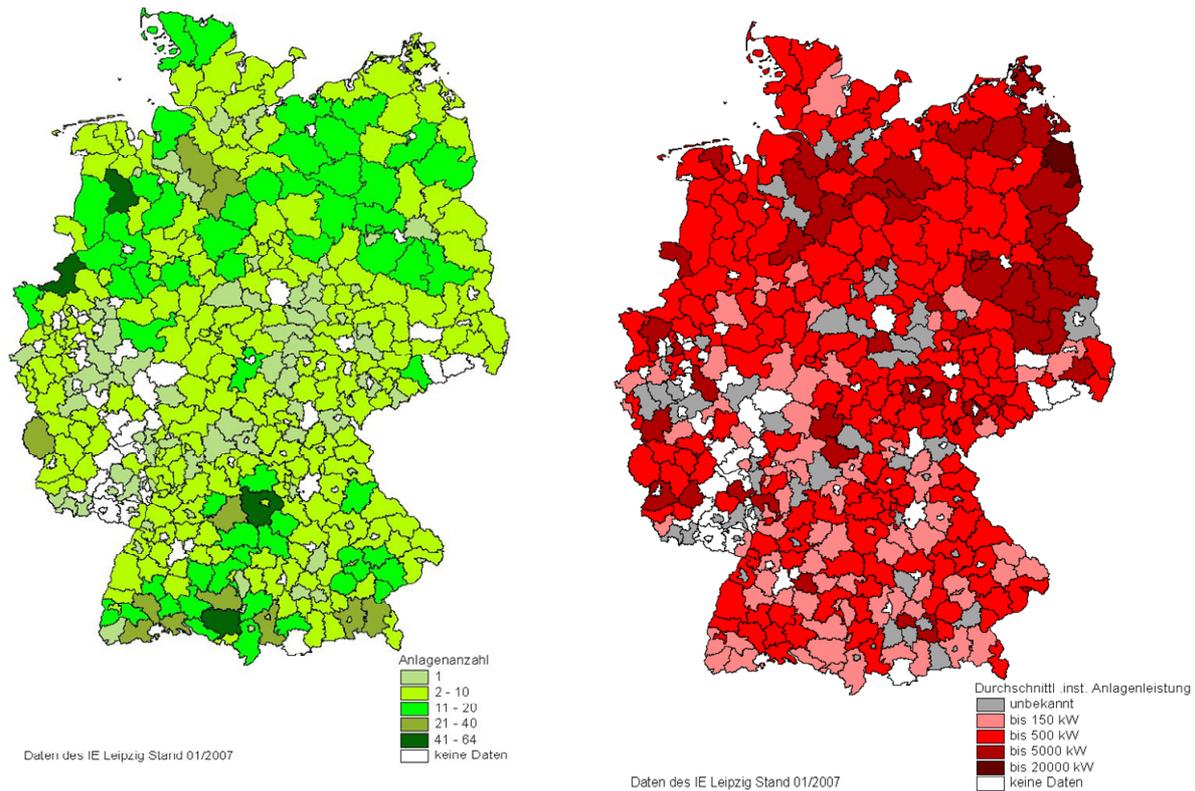


Abbildung 2-13: Anlagenanzahl und durchschnittliche installierte Anlagenleistung von Biogasanlagen auf Kreisebene in Deutschland

Im Hinblick auf die zunehmende Leistungsgröße der installierten Biogasanlagen ist ergänzend anzumerken, dass der Leistungsbereich deutlich oberhalb von 500 kW_{el} vereinzelt durch sogar Biogasanlagen-Parks realisiert wird. Derartige Biogasparcs umfassen eine Vielzahl von Biogasanlagen im mittleren Leistungsbereich (z. B. 500 kW_{el}) und erreichen eine gesamte installierte Anlagenleistung von teilweise mehreren MW_{el}. So ist in Mecklenburg-Vorpommern beispielsweise bereits ein Biogasparc mit einer Leistung von 2,5 MW_{el} (fünf Anlagen à 500 kW_{el}) in Betrieb und weitere mit bis zu 20 MW_{el} (40 Anlagen à 500 kW_{el}) in Vorbereitung. Vergleichbare Aktivitäten sind auch in anderen Bundesländern zu verzeichnen.

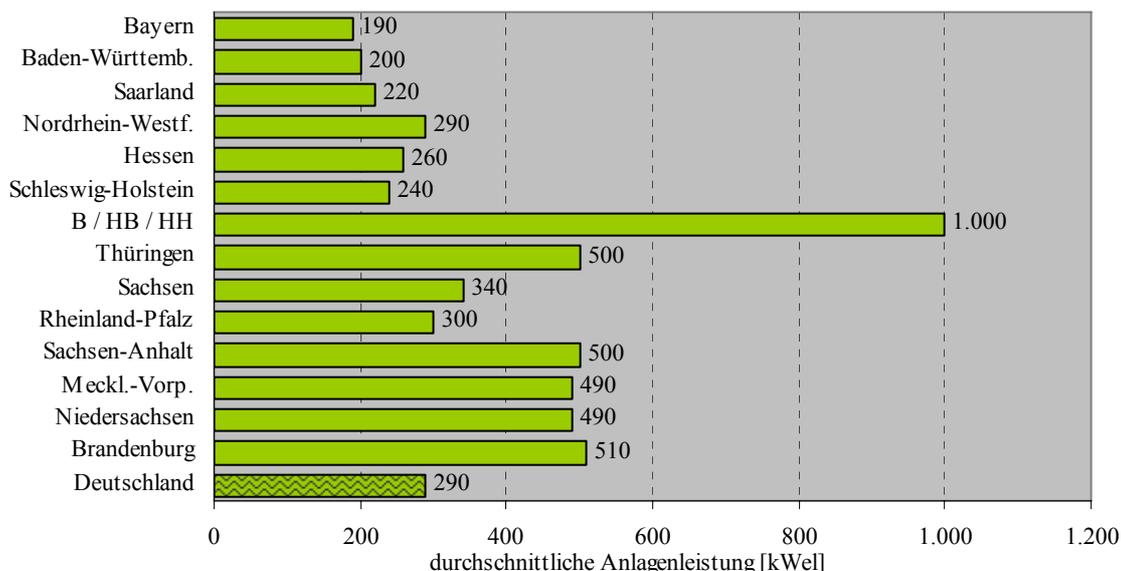


Abbildung 2-14: Durchschnittliche installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen in den Bundesländern (Stand Dezember 2006)

Wie Abbildung 2-14 zeigt, stellen sich die Anteile der Bundesländer auch hinsichtlich der gesamten in Deutschland installierten elektrischen Leistung unterschiedlich dar. Der Zuwachs vor allem großer Anlagen in Bundesländern mit sehr großen landwirtschaftlichen Betrieben und Industrieansiedlungen, wie beispielsweise in Niedersachsen oder auch den neuen Bundesländern mit zum Teil relativ geringen Anzahlen installierter Biogasanlagen, nimmt im Vergleich zu den Vorjahren deutlich zu. Dabei ist hier die Stellung Niedersachsens aufgrund des stark überdurchschnittlichen Anlagenzuwachses hervorzuheben.

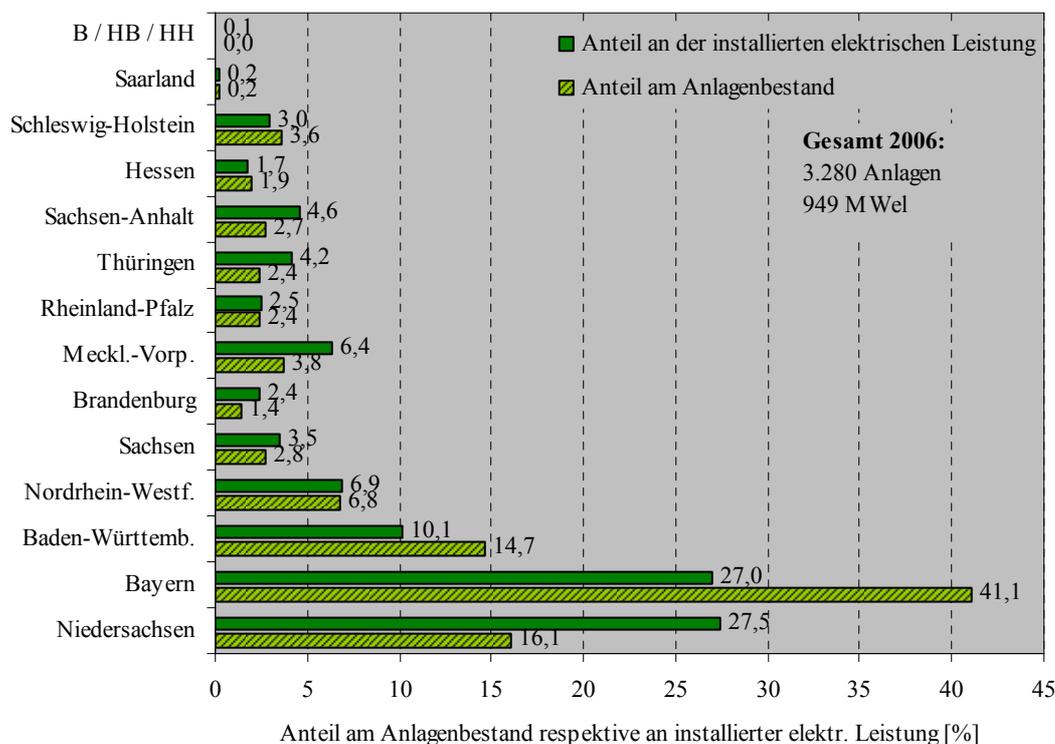


Abbildung 2-15: Anteil der Bundesländer am Anlagenbestand und an der installierten elektrischen Leistung der Biogasanlagen

2.3.3 Stromerzeugung

Die potenzielle Stromerzeugung wurde, auf Basis mittlerer Volllaststunden, für das Jahr 2006 mit etwa **7,5 TWh_{el}** brutto (2005: 4,3 TWh_{el}) abgeschätzt⁹ (Abbildung 2-16). Die realisierte Stromerzeugung lag wegen der im Jahresverlauf erfolgten Inbetriebnahmen und der damit deutlich geringeren Betriebsstunden bei etwa **5,4 TWh_{el}** (2005: 2,8 TWh_{el})¹⁰.

Es wird erwartet, dass sich der Trend sowohl in Bezug auf die Anlagenzahl als auch auf die Anlagengröße weiter fortsetzen wird. Im Vergleich zu den Vorjahren wird die Anlagenentwicklung jedoch verhaltener eingeschätzt. Für das Jahr 2007 wird ein Anlagenzubau von etwa 500 - 600 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Anlagenleistung von 250 - 300 MW_{el} prognostiziert.

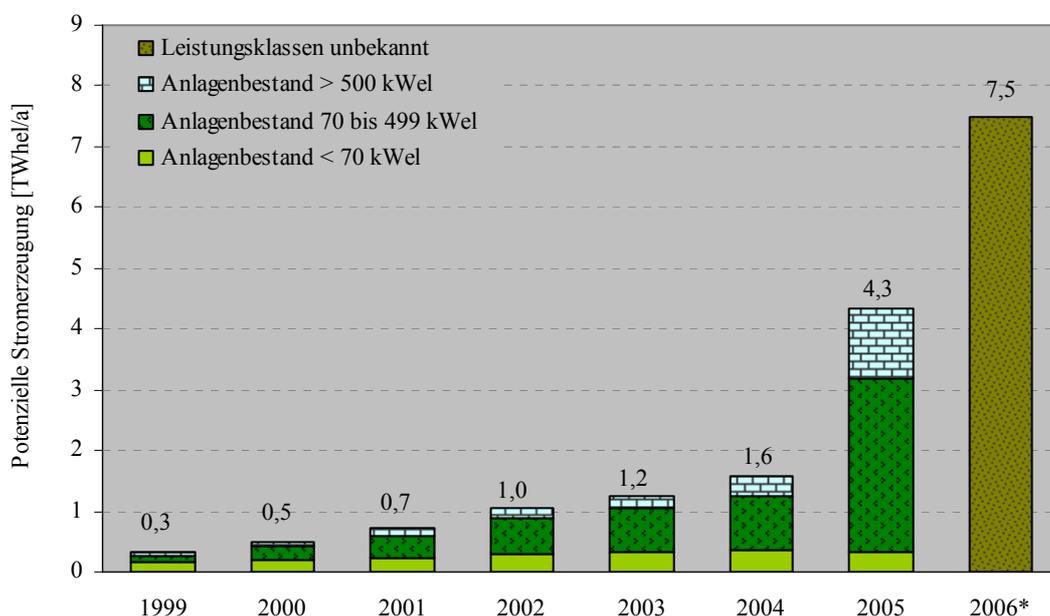


Abbildung 2-16: Potenzielle Stromerzeugung der Biogasanlagen (Stand Dezember 2006)

2.3.4 Substrateinsatz

Der potenzielle Brennstoffeinsatz (d. h. Biogas) zur Stromerzeugung kann auf Basis der potenziellen Stromerzeugung für das Jahr 2006 mit etwa **77 PJ/a** (2005: 47 PJ/a) abgeschätzt werden¹¹. Die wichtigste Substratgruppe¹² zur Biogaserzeugung stellen tierische Exkremente dar. Insgesamt können mehr als die Hälfte aller eingesetzten Substrate – bezogen auf den Massenanteil der in Biogasanlagen eingesetzten Substratkategorien – dieser Kategorie zugeordnet werden (Rinder- und Schweinegülle, Festmist, Putenmist, Hühnermist), wobei

⁹ Zur Berechnung der Stromerzeugung wurden für alle Anlagengrößen 7.500 Volllaststunden im Jahr angenommen.

¹⁰ Die Berechnung der realen Stromerzeugung aus Biogas wurden folgende Annahmen getroffen: Für den Anlagenbestand bis Ende 2005 wurden 6.500 Volllaststunden, für Neuanlagen der 1. Jahreshälfte 2006 4.800 Volllaststunden, 2. Jahreshälfte 1.500 Volllaststunden angenommen.

¹¹ Die Abschätzung erfolgt auf Basis der potenziellen und realen Stromerzeugung für das Jahr 2005 unter Berücksichtigung eines mittleren Energieinhaltes von 6 kWh_{th} je m³ eingesetztem Biogas.

¹² Alle Angaben beziehen sich auf einen Stichprobenumfang von etwa 650 Biogasanlagen.

diese Substrate meist nicht allein, sondern als Grundsubstrat zusammen mit Kofermenten (meist NawaRo) genutzt werden. Die Kategorie „Reststoffe aus der Landwirtschaft und der Industrie“ (z. B. Abwässer, Schlämme, Kartoffelschälabfälle oder Fettabscheiderfette) nimmt im Verhältnis zu anderen Kategorien ab und ist derzeit mit etwa 16 % vertreten. Der NawaRo-Anteil hat sich dagegen gegenüber 2004 mit jetzt 22 % mehr als verfünffacht. Dieser Trend ist in erster Linie auf die Anreizwirkung des novellierten EEG 2004 zurückzuführen, in dem der ausschließliche Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen und/oder tierischen Exkrementen in Biogasanlagen durch den sog. „NawaRo-Bonus“ finanziell gefördert wird. Die Nutzung von Bioabfall in Biogasanlagen beträgt etwa 11 % der insgesamt eingesetzten Substratmenge (Abbildung 2-17).

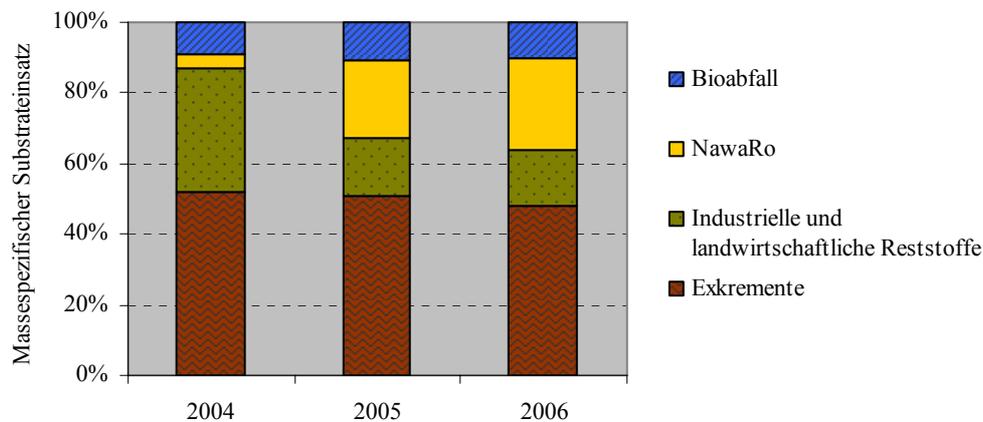


Abbildung 2-17: Massebezogener Substrateinsatz einzelner Substratkategorien in Biogasanlagen

2.4 Beitrag zum Klimaschutz

Neben dem Ziel der Substitution fossiler und radioaktiver Energieträger ist der Einsatz von Biomasse zur Energiegewinnung von zentraler Bedeutung für die Klimaschutzpolitik in Deutschland. Nachfolgend werden die durch den Biomasseeinsatz zur Stromerzeugung vermiedenen CO₂-Emissionen¹³ ermittelt und damit für die öffentliche Diskussion verfügbar gemacht.

2.4.1 Methodischer Ansatz

Ausgehend vom Anteil des auf Basis von festen, flüssigen und gasförmigen Bionergieträgern erzeugten Bruttostromes in Deutschland werden die vermiedenen CO₂-Emissionen durch den Einsatz von Biomasse zur Stromerzeugung abgeschätzt. Dabei werden den mittleren CO₂-Emissionen des deutschen Strommixes die mit der Stromerzeugung in Biomasseheizkraftwerken, Biogasanlagen und Pflanzenöl-BHKW verbundenen CO₂-Emissionen gegenübergestellt. Datengrundlage dafür sind die für typische praxisnahe Modellbioenergieanlagen ermittelten Treibhausgasemissionen /174/.

¹³ CO₂-Emissionen stehen nachfolgend stellvertretend für CO₂-Äquivalent-Emissionen (d. h. in erster Linie Kohlenstoffdioxid CO₂ und die Äquivalente Methan CH₄ und Lachgas N₂O), die zum anthropogenen Treibhauseffekt beitragen.

Real sind die vermiedenen Emissionen im Gesamtenergiesektor (d. h. Strom und durch KWK anfallende Wärme) höher, da die CO₂-Reduzierung im Wärmesektor (z. B. durch Substitution von Wärme auf Erdgas- bzw. Erdölbasis) durch den Einsatz von Biomasse-KWK-Anlagen (d. h. Beitrag zur Ausschöpfung der Effizienzpotentiale durch gleichzeitige Wärme- und Stromerzeugung) nicht im Detail ausgewiesen werden können. Ein methodischer und wissenschaftlich belastbarer Ansatz befindet sich gegenwärtig u. a. bei der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen in der Erarbeitung /172/. Nachfolgend wird jedoch der Versuch einer groben Abschätzung unternommen, um erste Hinweise auf die Größenordnungen der mit der Stromerzeugung aus Biomasse verbundenen positiven Nebeneffekte auf den Wärmesektor zu geben. Dies erfolgt mit Bezug auf die im Projektschwerpunkt „Umweltanforderungen“ (vgl. Kapitel 8) ermittelten Treibhausgaseinsparungen für KWK-Anlagen. Dabei fallen für Wärme aus KWK keine zusätzlichen Treibhausgasemissionen an, da selbige bereits der Stromerzeugung aus Biomasse zugeschrieben worden. Aufgrund dessen können mit dem Einsatz von KWK-Wärme die mit der Wärme auf der Basis von Erdgas bzw. Erdöl verbundenen CO₂-Äquivalent-Emissionen (nahezu) vollständig vermieden werden.

2.4.2 Bruttostromerzeugung in Deutschland

Seit Inkrafttreten des EEG im Jahr 2000 hat sich bis zum Jahr 2005 – bei gleichzeitiger Zunahme der Bruttostromerzeugung in Deutschland um etwa 7 % – der Anteil der regenerativen bzw. biogenen Energieträger auf etwa 10 % (63,6 TWh_{el}) erhöht /186/ (Tabelle 2-1, Abbildung 2-18). Dies ist neben der verstärkten Nutzung der Windenergie und auch auf den Ausbau von Bioenergieanlagen zurückzuführen. Die für diese Studie relevanten Bioenergieträger sind aufgrund ihres geringen Anteils an der Bruttostromerzeugung unter „Übrige Energieträger“ subsumiert.

Tabelle 2-1: Entwicklung der Bruttostromerzeugung in Deutschland (* vorläufige Angaben) /171/

| [TWh _{el} /a] | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005* |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Steinkohle | 143,1 | 138,4 | 134,6 | 146,5 | 140,8 | 134,1 |
| Braunkohle | 148,3 | 154,8 | 158,0 | 158,2 | 158,0 | 154,1 |
| Mineralölprodukte | 5,9 | 6,1 | 8,7 | 9,9 | 10,3 | 11,6 |
| Erdgas | 49,2 | 55,5 | 56,3 | 61,4 | 61,4 | 68,9 |
| Kernenergie | 169,6 | 171,3 | 164,8 | 165,1 | 167,1 | 163,0 |
| Wasserkraft ^a | 29,4 | 27,8 | 28,4 | 24,2 | 27,8 | 27,3 |
| Windkraft | 9,5 | 10,5 | 15,8 | 18,7 | 25,5 | 27,2 |
| übrige Energieträger | 21,5 | 22,0 | 20,1 | 23,5 | 25,3 | 31,8 |
| Gesamt | 576,1 | 586,4 | 586,7 | 607,5 | 616,2 | 618,0 |

^a einschließlich Pumpspeicherwerke

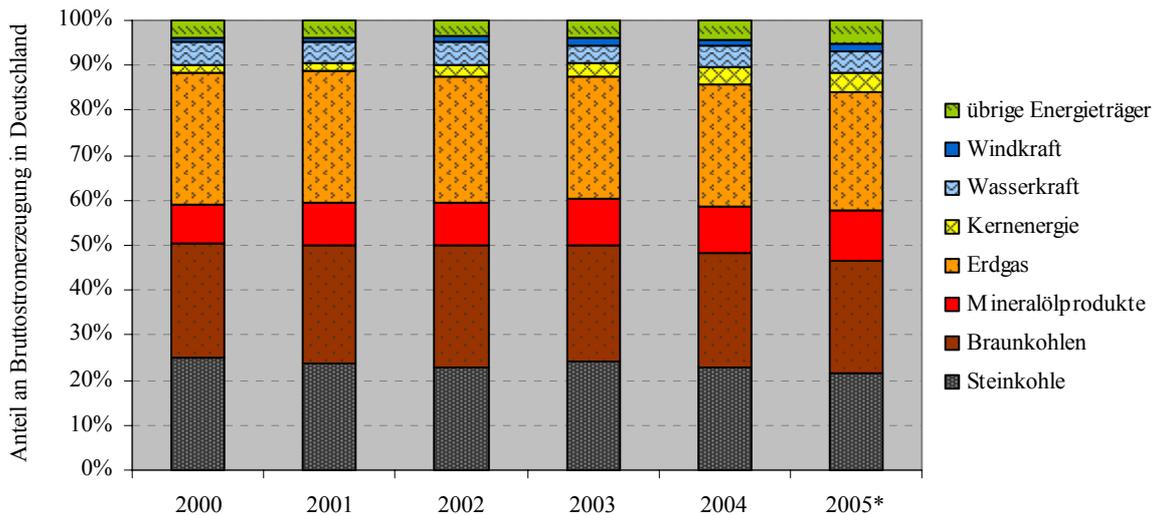


Abbildung 2-18: Entwicklung der Anteile der Energieträger an der Bruttostromerzeugung in Deutschland

Der Anteil von Strom aus Bioenergieanlagen an der Bruttostromerzeugung ist in Abbildung 2-19 dargestellt. Dabei wurde vereinfacht die potenzielle Stromerzeugung aus festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern als maximal möglicher Beitrag zur Bruttostromerzeugung seit Inkrafttreten des EEG unterstellt.

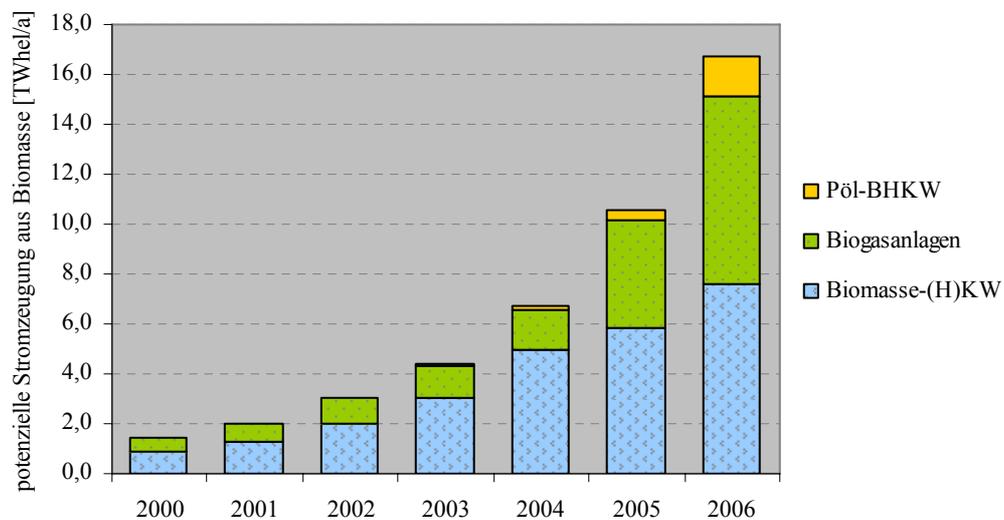


Abbildung 2-19: Entwicklung der Stromerzeugung aus biogenen Energieträgern

Die durch den Einsatz von KWK im deutschen Energiesektor verfügbare Wärme kann für das Jahr 2005 mit etwa 5,3 TWh_{th}¹⁴ für Biomasse(heiz)kraftwerke, etwa 1,3 TWh_{th} für Biogasanlagen und etwa 0,5 TWh_{th} für Pflanzenöl-BHKW abgeschätzt werden /174/.

¹⁴ Anders als bei der Stromerzeugung in Bioenergieanlagen, wo EEG-Strom als Bruttostrom ins Netz eingespeist wird, handelt es sich bei der Wärme um eine Nettowärmeabgabe (d. h. abzüglich der prozessintern genutzten Wärme am Ort der Gesteung).

2.4.3 Vermiedene CO₂-Äquivalent-Emissionen

In Deutschland wurde bis zum Jahr 2004 eine Reduzierung der gesamten Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente) um etwa 220 Mio. t (d. h. etwa 18 %) gegenüber dem Jahr 1990 erreicht /173/. Die Entwicklung der mit der Stromerzeugung aus Biomasse verbundenen Verminderung von Treibhausgasemissionen ist in Abbildung 2-20 als Bandbreite dargestellt. Dabei wurden für den deutschen Strommix eine durchschnittliche CO₂-Äquivalent-Emission von 655 kg/MWh_{el} unterstellt; die mit der Stromerzeugung aus Biomasse in Biomasse(heiz)kraftwerken verbundenen Emissionen liegen je nach Technologie und Anwendungsfall (d. h. mit und ohne Gutschriften der KWK-Wärme; vgl. Kapitel 8.1) in folgenden Größenordnungen (Tabelle 2-2)¹⁵. Dabei wurden nur solche Technologien betrachtet, die in im nachstehenden Betrachtungszeitraum von 2000 bis 2006 in der Praxis zum Einsatz gekommen sind.

Tabelle 2-2: Datenbasis Treibhausgasemissionen – Stromerzeugung aus Biomasse

| THG [kg/MWh _{el}] | Biomasse(heiz)kraftwerke | Biogasanlagen | Pflanzenöl (Pöl)-BHKW |
|---|--------------------------|----------------------|-----------------------|
| <i>Brutto (d. h. ohne Wärmegutschriften)</i> | | | |
| Min. | 19 (Altholz, DT) | 39 (Biomüll) | 408 (Rapsöl) |
| Max. | 84 (WHS, ORC) | 227 (Gülle) | 682 (Palmöl) |
| <i>Anrechnung von 50 % der möglichen Wärmenutzung, Ersatz von Gas- bzw. Ölheizungen</i> | | | |
| Min. | - 1.107 (WHS, ORC, Öl.) | - 227 (Biomüll, Öl.) | -6,6 (Rapsöl, Öl.) |
| Max. | - 766 (WHS, DM, Gash.) | - 15 (Mais, Gash.) | 506 (Palmöl, Gash.) |

WHS – Waldholzhacksnitzel, Öl. – Ölheizung, Gash. – Gasheizung; neg. Zahlenwerte stammen aus den Wärmegutschriften für fossiles THG zu verstehen.

Analog zur Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse hat sich der Betrag von Biogasanlagen zur Treibhausgasvermeidung gegenüber 2004 nahezu verdreifacht, während der Beitrag von Biomasse(heiz)kraftwerken nur um etwa 18 % zugenommen hat. Der Beitrag von Pflanzenöl-BHKW ist hingegen vernachlässigbar gering.

¹⁵ Für die Nutzung von Palmöl in BHKW ergeben sich in Abhängigkeit der zugrunde gelegten Referenzsysteme für den Anbau von Palmölpflanzen in Südostasien (u. a. im Hinblick auf Vor- und Nachnutzung der Landfläche für Palmölplantagen, Anteil der zum Einsatz kommenden mineralischen Dünger) für die Abschätzung relevanter THG-Emissionen teils deutliche Unterschiede. Die Verfeinerung dieser Referenzsysteme und Unterlegung mit Daten aus der Praxis für eine differenziertere Betrachtung der mit dem Palmölpflanzenanbau und letztlich mit deren Nutzung verbundenen THG-Emissionen ist gegenwärtig Gegenstand weiterführender Studien (u. a. des IFEU und des Öko-Instituts). Für die Abschätzung der relevanten THG-Minderung im Kontext dieses Forschungsvorhabens wurden daher in Abstimmung mit dem Öko-Institut sinnvolle Bandbreiten, die den optimierten Anbau von Palmölpflanzen inkludieren, zugrunde gelegt.

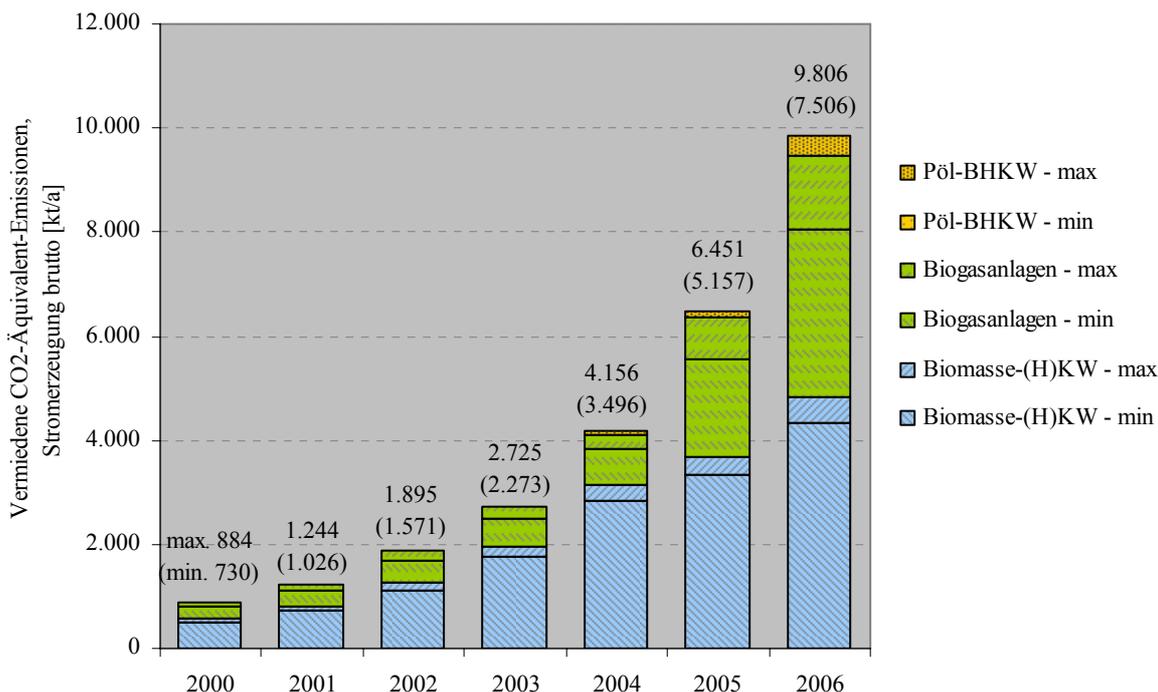


Abbildung 2-20: Entwicklung der vermiedenen CO₂-Emissionen durch Einsatz von Biomasse zur Stromerzeugung (Bruttobilanz ohne Berücksichtigung von Wärmegutschriften aus KWK)

Durch die Nutzung von Biomasse als Energieträger zur Stromerzeugung konnten im Jahr 2005 im Mittel ca. 5,8 Mio. t CO₂-Äquivalente (2006 sogar ca. 8,7 Mio. t) vermieden werden. Dies entspricht etwa 14 % der vermiedenen Gesamt-CO₂-Emissionen, die mit dem Einsatz von erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung einhergehen (vgl. Tabelle 2-3); bezogen auf die mittleren Gesamtreibhausgasemissionen aus dem deutschen Energiemix wird durch Biomasse ein Vermeidung von mindestens 1,4 % erzielt.

Tabelle 2-3: Abschätzung der gesamten und vermiedenen Treibhausgasemissionen für die Stromerzeugung /174/f.

| CO ₂ -Äquivalente | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|--|------|------|------|-------------------|------|------|
| Gesamtemissionen dt. Strommix [Mio. t/a] | 377 | 384 | 384 | 398 | 403 | 405 |
| Vermiedene Emissionen | | | | | | |
| Erneuerbare Energien insgesamt [Mio. t/a] ^a | 25,5 | 25,8 | 30,2 | 30,0 ^c | 37,6 | 40,6 |
| davon Anteil Biomasse [%] ^b | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 14 |

^a Berücksichtigung der vermiedenen Emissionen von Wind, Wasserkraft und Photovoltaik gemäß der Anteile am deutschen Gesamtstrommix

^b bezogen auf die mittleren vermiedenen Emissionen

^c Grund für geringfügigen Rückgang ggü. Vorjahr ist Abnahme der Bruttostromerzeugung aus Wasserkraft um ca. 15 % (CO₂-Vermeidung entsprechend analog) infolge der hohen Temperaturen im Sommer 2003

Unter Berücksichtigung der durch den KWK-Anteil der Bioenergieanlagen substituierten Wärme (vgl. Tabelle 2-2) können die tatsächlich vermiedenen Treibhausgasemissionen deutlich höher sein. Auf Basis einer ersten vereinfachten Abschätzung können die zusätzlich

reduzierten Emissionen im Mittel bei etwa 6,9 Mio. t CO₂-Äquivalente für das Jahr 2005 und bei etwa 9,8 Mio. t für das Jahr 2006 liegen. Damit kann eine Gesamtvermeidung der Treibhausgase durch Bioenergieanlagen für 2005 im Mittel mit ca. 12,7 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten abgeschätzt werden, für 2006 wären es etwa 18,5 Mio.t vermiedene CO₂-Äquivalente.

2.5 Zusammenfassung

Ein zusammenfassender Überblick zum Stand der Stromerzeugung aus festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern in Deutschland für das Jahr 2006 gibt Tabelle 2-4.

Tabelle 2-4: Übersicht Bioenergieanlagen zur Stromerzeugung für das Jahr 2006

| | Anlagenanzahl ^a [-] | Installierte elek. Leistung ^a [MW _{el}] | Strom- erzeugung ^{a, c} [TWh _{el} /a] | Brennstoff- einsatz ^{b, c} [PJ/a] |
|--------------------------|-----------------------------------|--|---|--|
| Biomasse(heiz)kraftwerke | 162 | 1.094 | 7,6 | 115 |
| Biogasanlagen | 3.280 | 1.000 | 7,5 | 77 |
| Pflanzenöl-BHKW | 1.800 | 237 | 1,6 | 15 |
| Gesamt | 5.242 | 2.331 | 16,7 | 207 |

^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 nahezu verzehnfacht. Insgesamt sind um Ende 2006 etwa 5.250 Biomasseanlagen (etwa 50 % mehr als 2005) mit einer installierten elektrischen Leistung von ca. 2.331 MW_{el} in Betrieb, wobei sich der Anteil zugunsten der Biogasanlagen und Pflanzenöl-BHKW verschoben hat (Abbildung 2-21). Dennoch leisten Biomasse(heiz)kraftwerke nach wie vor den größten Beitrag zur Stromerzeugung aus Biomasse in Deutschland. Nach der Fortschreibung des Anlagenbestandes in der ersten Jahreshälfte des aktuellen Jahres kann für 2007 davon ausgegangen werden, dass sich die Anteile weiter zugunsten der Stromerzeugung aus Biogas sowie Pflanzenölen verschoben haben werden.

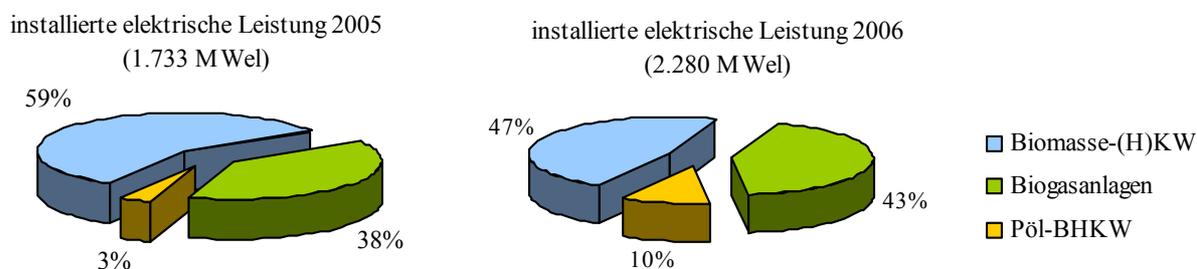


Abbildung 2-21: Anteile an der installierten elektrischen Leistung für die Jahre 2005 und 2006

Seit Jahresende 2006 werden in Deutschland potenziell etwa 17 TWh_{el}/a biogener Strom erzeugt, was einem Anteil von etwa 3 % der gesamten Nettostromerzeugung des Landes (ca.

596 TWh_{el}) entspricht; bezogen auf die erneuerbaren Energien beträgt dieser Anteil ca. 24 % /175/. Der Beitrag zur Minderungen der Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente) im Stromerzeugungssektor beträgt mindestens 8,7 Mio. Tonnen (Stand 2006, ohne Berücksichtigung des KWK-Anteils); zusätzlich werden durch den Einsatz von Wärme aus KWK-Bioenergieanlagen nach ersten Schätzungen potentiell etwa weitere 9,8 Mio. Tonnen Treibhausgase vermieden.

Die weitere Entwicklung der Stromerzeugung aus festen, gasförmigen und flüssigen Bioenergieträgern wird im Wesentlichen durch die EEG-Vergütung bestimmt sein. Der Ausbau der Nutzung fester Bioenergieträger hat sich seit der EEG-Novellierung im Jahr 2004 verlangsamt. Biomasse(heiz)kraftwerksprojekte auf Altholzbasis, die unter den zuvor geltenden Rahmenbedingungen (EEG 2000) geplant wurden, wurden jedoch weitgehend umgesetzt. Es wird nicht erwartet, dass nach der Absenkung der Mindestvergütungssätze für Altholz (ab 01. Juli 2006) weitere Anlagen auf Altholzbasis im größeren Leistungsbereich in Betrieb gehen, zumal der Altholzbrennstoffmarkt gesättigt ist. Ein weiterer Ausbau der Biomasse(heiz)kraftwerke wird voraussichtlich nur bei Nutzung naturbelassener Brennstoffe (NawaRo-Bonus) in Kombination (KWK-Bonus) mit Wärmenutzung und möglichst auch innovativen Techniken (Technologie-Bonus) für die Anlagenbetreiber wirtschaftlich tragbar sein, da ansonsten die höheren Brennstoffbereitstellungskosten nicht gedeckt werden können. Der Umstieg von ursprünglich mit Altholz betriebenen Anlagen auf naturbelassene Brennstoffe wird wohl eher die Ausnahme bleiben, da die höheren Brennstoffkosten sowie die Standortrahmenbedingungen nur in wenigen Fällen eine Verbesserung der Rentabilität der Anlagen erwarten lassen. Aktuell setzen Investoren deshalb verstärkt auf Anlagen mit Organic-Rankine-Cycle-Technologie (ORC) im Leistungsbereich <1 MW_{el}. Verhalten positive Aussichten bescheinigen einige Branchenexperten der Holzvergasung. Hier gibt es ein zunehmendes Interesse von potenziellen Investoren; eine verstärkte Projektrealisierung wird jedoch erst für 2007/08 erwartet.

Die Novellierung des EEG verursachte vor allem in der Biogasbranche einen Anlagenboom. Seit August 2004 konnten mehrere hundert Neuanlagen installiert werden; wobei der Trend zunehmend weg von kleinen landwirtschaftlichen Anlagen und hin zu etwa 500 kW_{el}-Anlagen unter Einbeziehung von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) geht. Häufig werden diese als Gemeinschaftsprojekt mehrerer Landwirte realisiert. Biogasanlagen im Bereich von 2 bis 3 MW_{el} werden voraussichtlich Einzelprojekte bleiben, da die Substratlogistik nur bei günstigen Rahmenbedingungen rentabel ist. Prinzipiell sind sich die Akteure der Branche einig, dass es mit den bestehenden Vergütungssätzen für kleine Biogasanlagen schwieriger ist einen rentablen Anlagenbetrieb zu erreichen als für Anlagen im mittleren Leistungsbereich. Investitionen in reine NawaRo-Biogasanlagen werden häufig nur dann realisiert, wenn neben dem NawaRo-Bonus zusätzlich auch der KWK-Bonus bzw. KWK- und Technologiebonus in Anspruch genommen werden kann. Als benachteiligt betrachtet wird die Biogasproduktion in Abfallbehandlungsanlagen nach dem neuen EEG; deren Ausbau in den vergangenen Jahren auch nahezu stagnierte.



Die Pflanzenölnutzung zur Stromerzeugung wird im Vergleich zur Nutzung von festen und gasförmigen Bioenergieträgern voraussichtlich auch weiterhin eine geringere Bedeutung haben. Offensichtlich ist in den letzten Jahren eine erhöhte Nutzungskonkurrenz von Rapsöl zugunsten des Ausbaus der Biodieselproduktion in Deutschland aufgetreten. Dennoch wurde in den vergangenen Monaten verstärkt die Pflanzenöl-BHKW mit importierten Pflanzenölen (insbesondere Palmöl) installiert und weitere befinden sich in Planung. Insbesondere Industrieunternehmen mit günstigen Standortbedingungen (z. B. Hafenanbindung), aber auch Gartenbaubetriebe mit hohem Wärmebedarf sind an der Installation von Pflanzenöl-BHKW im mittleren Leistungsbereich interessiert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Markt für pflanzenölbetriebene BHKW einen erheblichen Boom erlebt. Vor allem im mittleren Leistungsbereich sind erhebliche Marktzuwächse zu verzeichnen. Die weitere Marktentwicklung ist jedoch aufgrund der großen Abhängigkeit von der Entwicklung der Rohstoffpreise schwer prognostizierbar. Unter der Annahme gleich bleibender Rohstoffpreise wäre allerdings mittelfristig von einem jährlichen Wachstum der installierten Kapazität von über 100 MW_{el} zu rechnen. Allerdings hat die Festlegung des Biokraftstoffquotengesetzes (BioKraftQuG) zur Einhaltung einer nachhaltigen Bewirtschaftung bei der Herstellung von Biokraftstoffen, hier vor allem das in der stationären Anwendung vielfach eingesetzte Palmöl, zur Verunsicherung potenzieller Investoren geführt¹⁶. Insofern bleibt abzuwarten, welchen Einfluss die Umsetzung des Nachhaltigkeitsgedanken nach BioKraftQuG auf den Ausbau der Anlagenkapazität in Deutschland haben wird.

¹⁶ Zitat Pressemitteilung BMU „Palmöl wird weltweit gehandelt, seine Herkunft lässt sich dabei nicht immer lückenlos zurückverfolgen. Die Bundesregierung strebt deshalb gemeinsam mit vielen internationalen Organisationen, Umweltverbänden und Wirtschaftskreisen die Entwicklung von Zertifizierungssystemen an. Damit soll dokumentiert werden, dass das eingesetzte Palmöl aus nachhaltiger Produktion stammt. Die Bundesregierung bereitet eine Nachhaltigkeitsverordnung zum Kraftstoffquotengesetz. Deren Regelungen können voraussichtlich analog für den Bereich der erneuerbaren Strom- und Wärmeerzeugung übernommen werden.“ /191/

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).

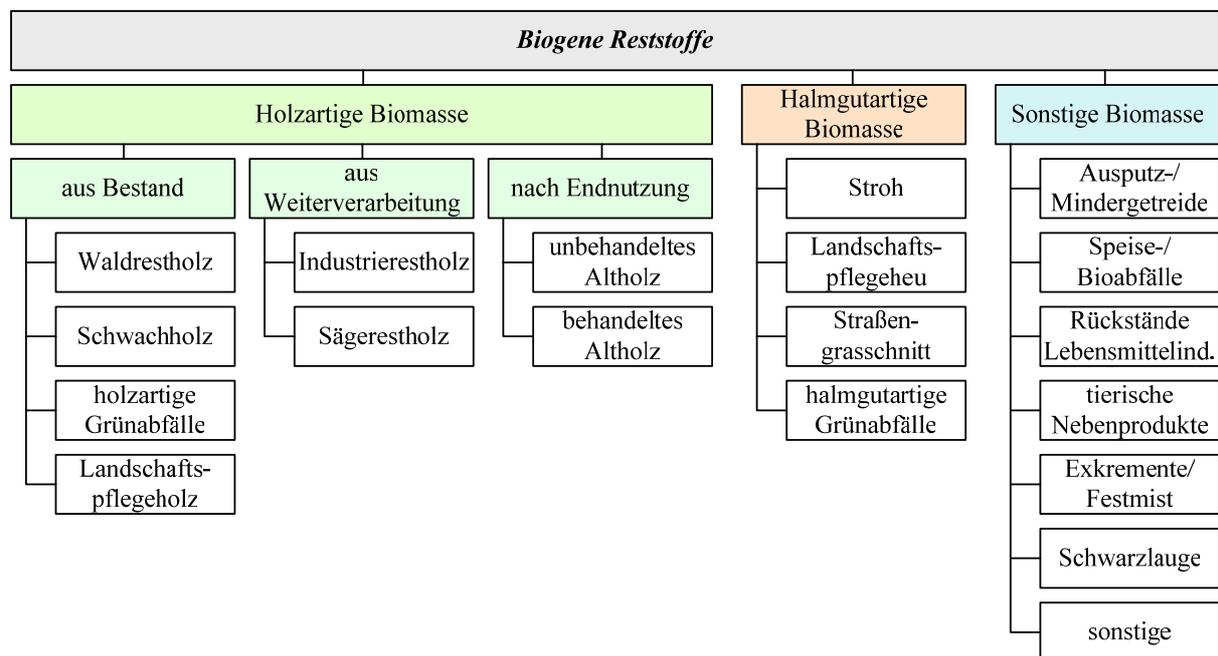


Abbildung 3-1: Klassifizierung biogener Reststoffe

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).

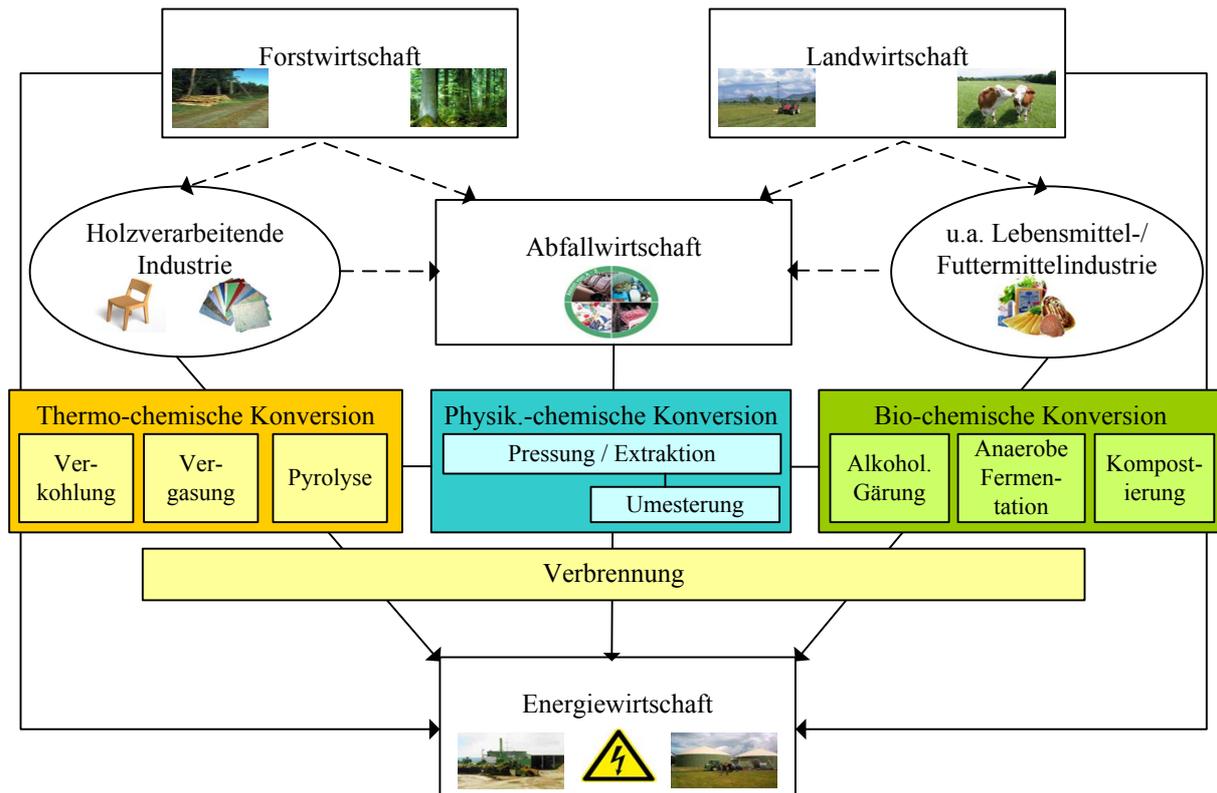


Abbildung 3-2: Prinzipielle energetische Nutzungsoptionen biogener Reststoffe

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 Umweltauflagen.

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 Marktanzreizprogramm sowie u. a. die BiomasseV zur Regelung des Anwendungsbereiches des EEG¹⁷. 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 Instrument gewertet, wonach unter Berücksichtigung definierter Zuordnungskriterien nur

¹⁷ § 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 Umweltauflagen bei der Erzeugung von Strom aus Biomasse einzuhalten sind.“

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 (AltholzV) und der neuen Abfallablagereungsverordnung 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 BiomasseV sowie die AltholzV definieren Altholz als Industrierestholz und Gebrauchtholz, soweit diese Abfall im Sinne von §3 Abs. 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes sind. Industrierestholz sind dabei die in Betrieben der Holzbe-/verarbeitung anfallenden Holzreste einschließlich der Holzwerkstoffreste aus Betrieben der Holzwerkstoffindustrie und der Verbundstoffe mit einem Holzanteil über 50 Masse-%. Gebrauchtholz beinhalten Hölzer, Holzwerkstoffe oder Verbundstoffe, 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/AbfAbIV ist die Deponierung von unbehandelten Abfällen aus Haushalten und Gewerbe seit dem 1. Juni 2005 verboten. 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 in der Realisierung als schwierig. Bisherige Ermittlungen des Altholzaufkommens stützen sich daher im Wesentlichen (i) auf die Erhebungen des Umweltstatistikgesetzes teilweise unter Einbeziehung der Abfallbilanzen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger /1/, /58/ sowie (ii) auf Befragungen von Altholzhändlern /57/ 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.

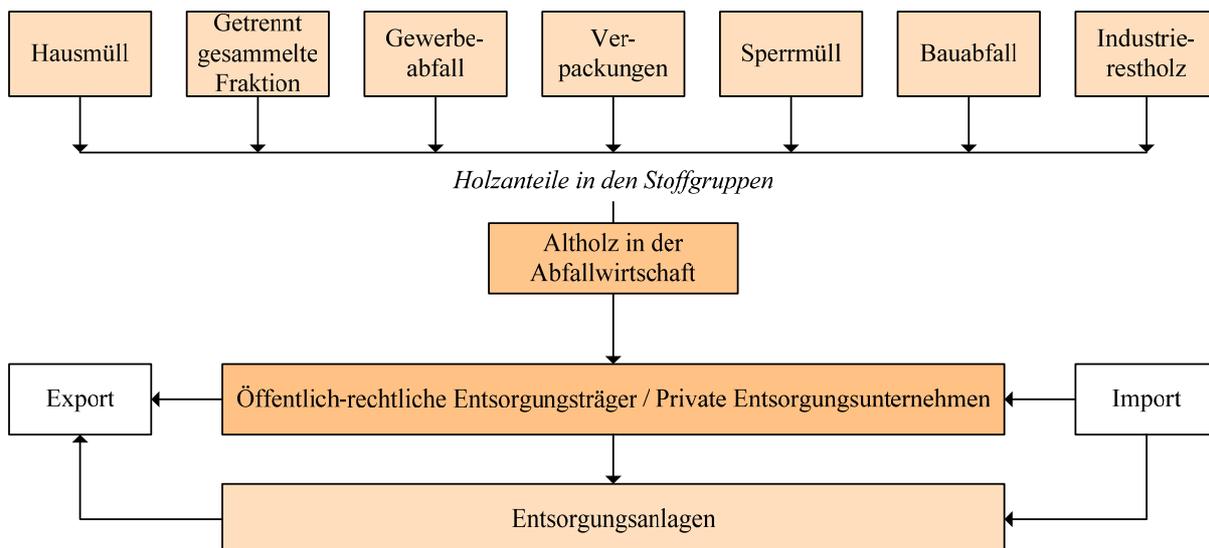


Abbildung 4-1: Stoffstromdiagramm für Altholz auf Grundlage statistischer Erhebungen

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 (zeitnaher) 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 Entsorgungseingpässen 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 /60/.

Die nachfolgende Zusammenfassung zum Altholzaufkommen umfasst eine Übersicht zum Aufkommen auf Bundesebene, aufgeschlüsselt nach Abfallbereichen und Altholzklassen sowie eine Übersicht zur regionalen Verteilung. Eine umfassende Erläuterung zu den einzelnen holzartigen Abfallfraktionen (d. h. in Siedlungsabfällen, in Bau- und Abbruchabfällen, in Verpackungsabfällen sowie Abfällen aus der Holzbearbeitung und der Herstellung von Platten, Möbeln, Zellstoffen, Papier und Pappe) kann dem Zwischenbericht /6/ entnommen werden.

Aufkommen auf Bundesebene

Die Tabelle 4-1 zeigt das bundesweite Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallsbereichen. Auf Basis der Länderstatistiken lässt sich ein Altholz anfall in der Größenordnung von 7,9 Mio. t/a abschätzen, davon liegen etwa 5,4 Mio. t/a separat als Altholz vor. In der Erhebung auf Basis der Daten des Jahres 1998/99 wurde ebenfalls ein Altholzaufkommen von 7,9 Mio. t/a ermittelt /5/. Die separat erfasste Menge von 5,4 Mio. t/a liegt in ähnlicher Größenordnung wie das erfasste Aufkommen (ohne Import) in /5/, welches 5,9 Mio. t/a betrug. Dieser Wert deckt sich auch mit Einschätzungen von Experten des Altholzmarktes, die von einem Marktvolumen von 5 bis 6 Mio. t/a ausgehen /63/. Mengenmäßig dominierend sind Althölzer im Kontext von Bauabfällen und von Abfällen in der Holzindustrie.

Tabelle 4-1: Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallbereichen

| | Altholzanzahl insgesamt | | davon separat vorliegend | |
|---------------------------|-------------------------|------------|--------------------------|------------|
| | absolut [kt/a] | Anteil [%] | absolut [t/a] | 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-Altholzanzahl 2003:
7,9 Mio. t (davon 5,4 Mio. t separat vorliegend)

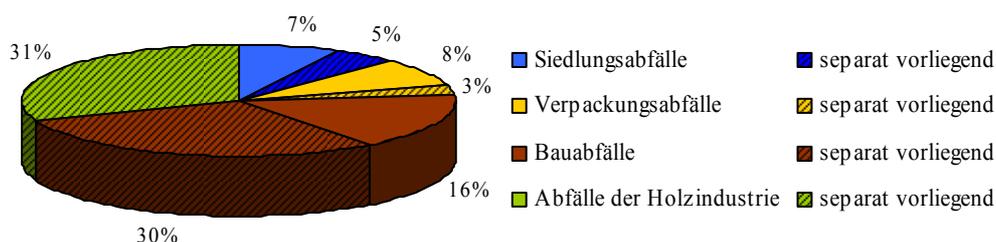


Abbildung 4-2: Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallbereichen

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 4-2 vornehmen.

Tabelle 4-2: Bundesweites Aufkommen an separat vorliegendem Altholz in den verschiedenen Anfallsbereichen und grobe Abschätzung der Anteile der einzelnen Altholzkategorien

| | absolut [kt/a] | 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 kann das getrennt erfasste Altholz auf die einzelnen Altholzklassen aufgeteilt. 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 (Abbildung 4-3).

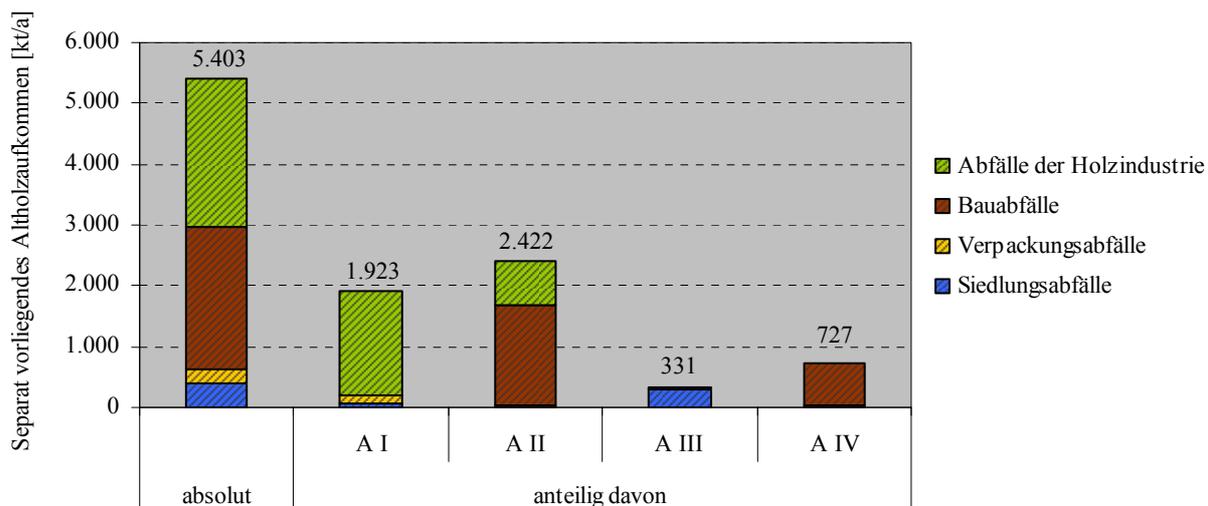


Abbildung 4-3: Bundesweites Aufkommen an separat vorliegendem Altholz in den verschiedenen Anfallsbereichen und Altholzkategorien im Jahr 2003

Ein Vergleich dieser Zuordnung mit den Ergebnissen anderer auf Angaben der Altholzhändler basierenden Untersuchungen /57/ zeigt deutliche Unterschiede (Tabelle 4-3). 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 /57/ berücksichtigte Importe (möglicherweise insbesondere A III/IV-Hölzer) ebenso zu Verzerrungen.

Tabelle 4-3: Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallsbereichen und Altholzkategorien im Jahr 2003 im Vergleich zu /57/

| Altholzkategorie | Ableitung IE | | Standorte der Holzwirtschaft 2005 | |
|------------------|--------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| | absolut [Mio. t/a] | Anteil [%] | absolut [Mio. t/a] | 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 4-4 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.

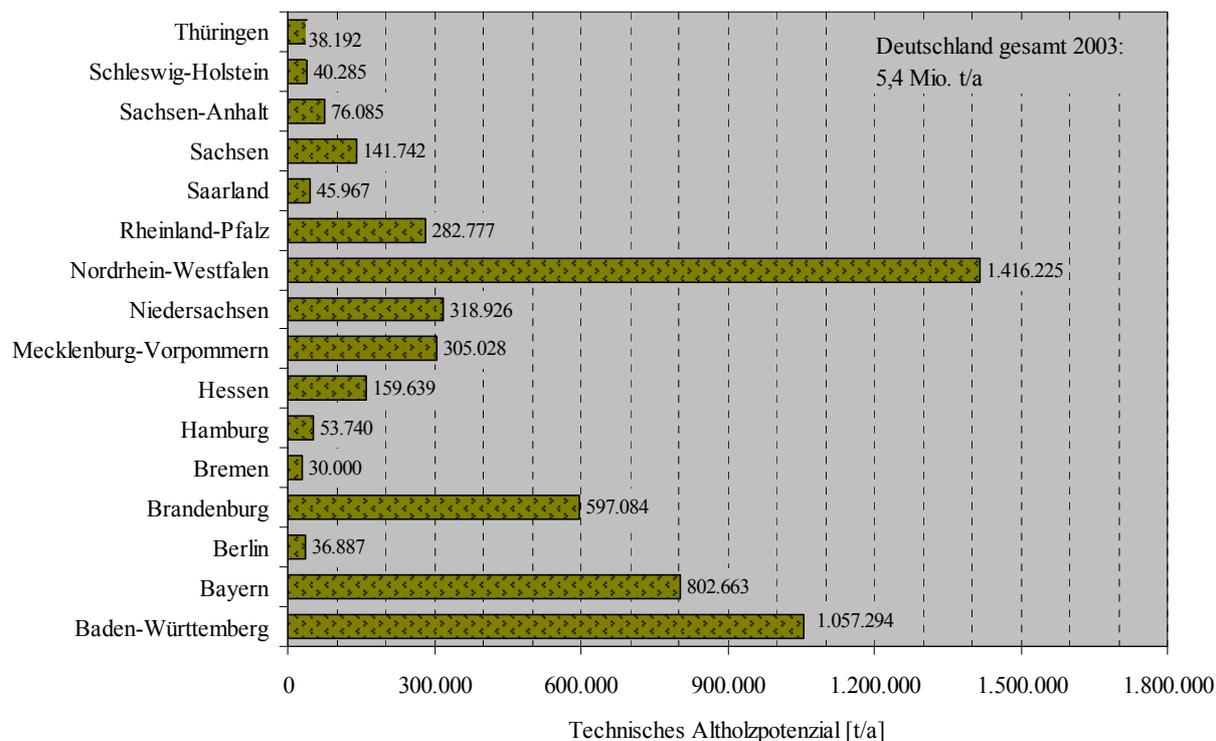


Abbildung 4-4: Technisches Potenzial separat vorliegender Altholz mengen in den Bundesländern im Jahr 2003

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.

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 /63/.

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 /64/. 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/a). 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/a /64/. Im Rahmen dieser Altholzbilanzierung werden für das Jahr 2003 insgesamt 2 Mio. t/a angesetzt.

Energetische Nutzung

Die energetische Verwertung von Altholz beschränkt sich gegenwärtig auf den Einsatz in Feuerungsanlagen zur Stromerzeugung, Wärmebereitstellung und KWK. Die Tabelle 4-4 zeigt die prinzipiellen Möglichkeiten des Einsatzes verschiedener Altholzklassen in unterschiedlichen Feuerungsanlagengrößen auf /64/. 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 dem, was immissionsschutzrechtlich genehmigt ist, und der 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 Mindestanlagengröße erforderlich.

Tabelle 4-4: Einsatzmöglichkeiten der einzelnen Altholzkategorien in unterschiedlichen Feuerungsanlagengrößen (nach /64/)

| 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 Kleinbetrieben 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 /65/. Im Jahr 2003 ist von einer ähnlichen Größenordnung auszugehen. Dabei ist davon auszugehen, dass etwa die Hälfte des Brennstoffbedarfs¹⁸ 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_{FWL} nur noch solche im GHDÜ¹⁹- und Industriesektor /65/, /67/. 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 /67/ 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/a 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_{FWL} 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/a Altholz eingesetzt. Der Schwerpunkt des Altholzeinsatzes liegt bei den Anlagen mit einem Brennstoffbedarf von

¹⁸ Ergebnis der Befragungen der Rheinbraun Brennstoff GmbH im Rahmen der Analyse der aktuellen Marktsituation bei Festbrennstoffen im Jahr 2001

¹⁹ GHDÜ – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher

mehr als 50 kt /67/. 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. 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/a belaufen.

Die Tabelle 4-5 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 Gesamaltholzeinsatz 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/a.

Tabelle 4-5: Holz- und Altholz in Feuerungsanlagen im Jahr 2003

| | Holzeinsatz insgesamt [Mio. t/a] | Anteil Altholz [%] | Altholzeinsatz [Mio. t/a] ^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 AltholzV seit März 2003 nicht mehr möglich, was bei getrennt vorliegenden Althölzern auch zuvor schon kaum Praxisgegenstand war. Mit dem Inkrafttreten des Ablagerungsverbots dürfen seit Mitte 2005 auch keine Hölzer in Stoffgemischen mehr deponiert werden. Ebenso die Beseitigung von Althölzern in Sonderverbrennungsanlagen 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/a vgl. /64/) 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 4-6 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/a) sowie hausmüllähnliche Gewerbeabfälle nicht über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt (ohne Haus- und Sperrmüll) (1,3 Mio. t/a) und Sperrmüll (0,8 Mio. t/a) verbrannt. In jedem dieser Abfälle ist auch Altholz Bestandteil. Weitere Holz mengen 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 4-6: Anlieferungsmengen in Abfallverbrennungsanlagen im Zeitraum 1998 bis 2003 /70/

| Menge [kt/a] | 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** kommen insbesondere für das Brennen des Zementklinkers neben den traditionellen Brennstoffen wie Braun- und Steinkohle ebenso Sekundärbrennstoffe (z. B. Fraktionen aus Siedlungs-, Industrie- bzw. Gewerbeabfällen, Reifen, Tiermehle und –fette, Altholz) zum Einsatz, deren Anteil sich in den vergangenen Jahren wesentlich erhöht hat. Insgesamt wurden im Jahr 2005 in der Zementindustrie ca. 89 PJ/a Brennstoffe eingesetzt, davon etwa 44 PJ/a Sekundärrohstoffe /71/. Nahmen seit dem Jahr 2000 die eingesetzten Altholz mengen bis 2004 kontinuierlich ab, stieg der Anteil von Altholz im Jahr 2005 wieder auf 74 kt/a (Tabelle 4-7). Der Altholzeinsatz in der Zementindustrie hat damit – im Zusammenhang mit Inkrafttreten der TASI/AbfAbIV zumindest kurzfristig – wieder an Relevanz gewonnen.

Tabelle 4-7: Energie- und Altholzeinsatz in Anlagen der Zementindustrie im Zeitraum 1998 bis 2005 /71/

| | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>Thermischer Energieeinsatz [PJ/a]</i> | | | | | | | |
| insgesamt | 102,3 | 99,3 | 89,8 | 85,8 | 91,3 | 94,9 | 88,7 |
| davon Sekundärbrennstoffe | 23,4 | 25,5 | 27,2 | 29,9 | 34,9 | 40,0 | 43,3 |
| <i>Einsatzmenge Sekundärrohstoffe [kt/a]</i> | | | | | | | |
| insgesamt | 923 | 1.069 | 1.272 | 1.438 | 1.733 | 2.042 | 2.377 |
| davon Altholz | 77 | 79 | 72 | 63 | 48 | 42 | 74 |

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 /72/. 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 Im-/ 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 Abbildung 4-5 zeigt den Export, Import sowie das Außenhandelssaldo von notifizierungspflichtigen Holzabfällen der drei Holzabfallarten nach der EG Abfallstatistikverordnung im Zeitraum von 2001 bis 2005 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 4-5). Dahinter verbergen sich schwerpunktmäßig Mengen zur energetischen Verwertung in Altholzkraftwerken. Bedeutendstes Importland waren die Niederlande.

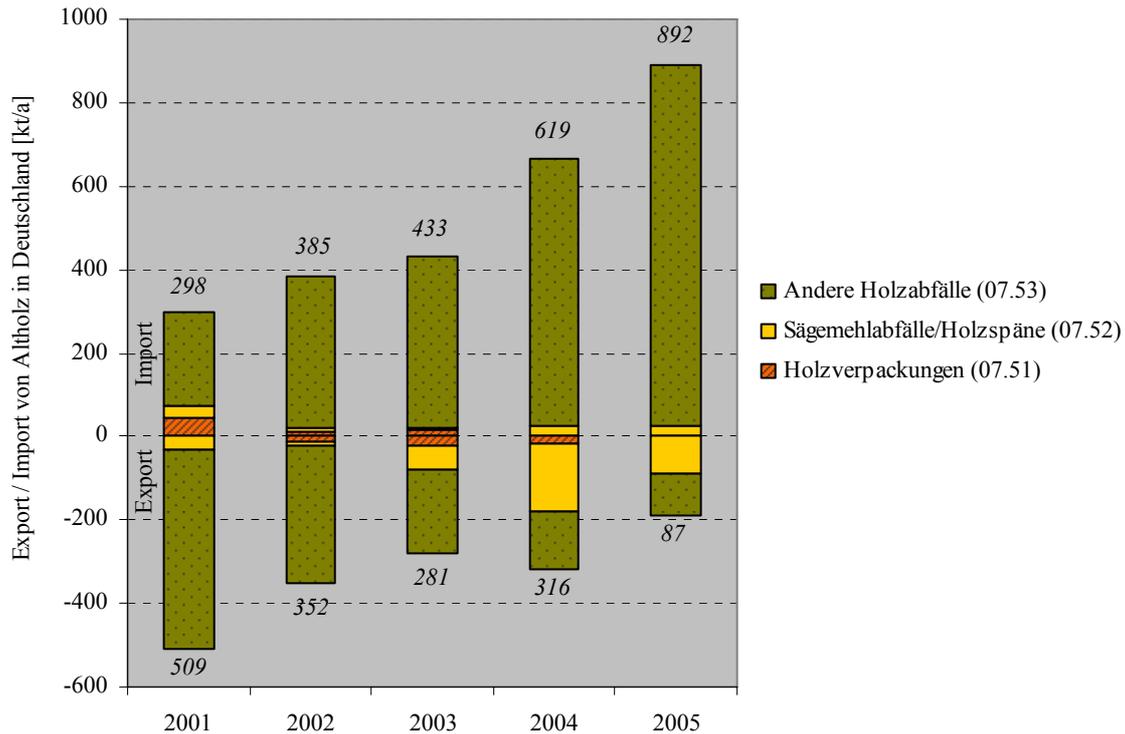


Abbildung 4-5: Export und Importe von Holzabfällen im Zeitraum 2001 bis 2005 /73/ f.

4.3.4 Altholzbilanz 2003

Die Tabelle 4-8 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/a 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 /62/; 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 4-8: Altholzbilanz für Deutschland für das Jahr 2003

| | Menge [Mio. t/a] |
|---|------------------|
| <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 GmbH²⁰, INTERSEEROH AG sowie die INTERWOOD GmbH, ein Tochterunternehmen der Pfeleiderer AG. Die INTERWOOD GmbH handelt als Marktführer jährlich ca. 1,1 Mio. t/a stoffliches und ca. 1,5 Mio. t/a thermisches Gebrauchtholz /75/.

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 /77/ und die INTERSEEROH weitere Holzkontore /78/. Auch die Insolvenzen zweier großer Holzhändler im Jahr 2003 haben zur weiteren Marktkonzentration geführt.

Einen Überblick zur Struktur des Altholzmarktes gibt Abbildung 4-6, welche die Anzahl der Altholzbetriebe im Jahr 2001 und ihr Handelsvolumen sowie das Handelsvolumen 2003

²⁰ bis Ende 2004 RETHMANN Entsorgungs AG & Co. KG

aufzeigt. Auch hier wird deutlich, dass wenige große Betriebe durch hohe Handelsvolumina gekennzeichnet sind.

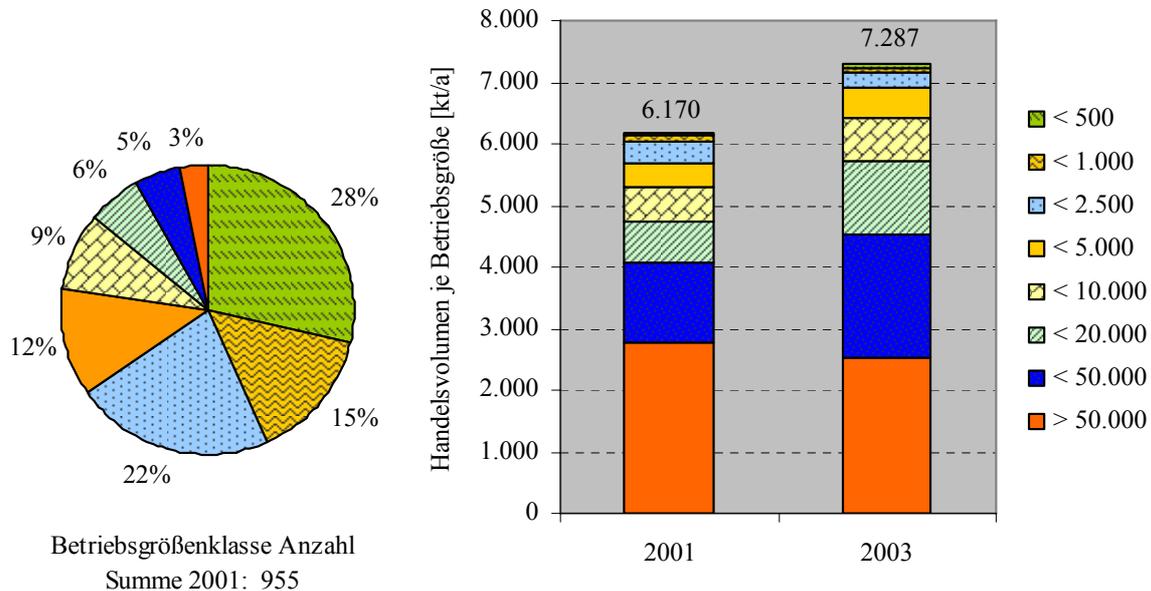


Abbildung 4-6: Altholzhandelnde Betriebe – Anzahl im Jahr 2001 und Marktvolumen 2001 und 2003 /58/

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.

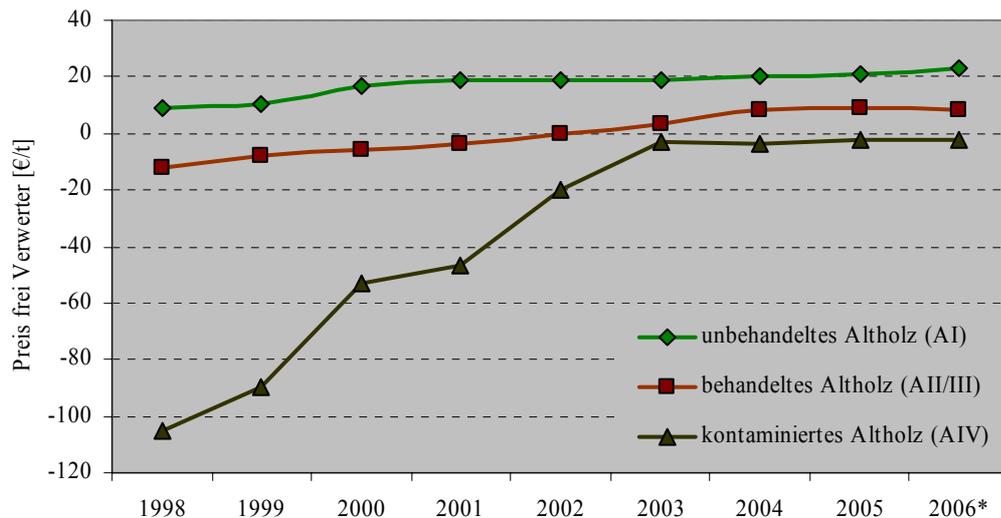
Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen auf der Basis von Althölzern werden daher zunächst die Preisentwicklung und aktuelle Situation im Hinblick auf die Brennstoffkosten diskutiert, bevor eine Betrachtung der spezifischen Stromgestehungskosten für bestehende Anlagen und Neuanlagen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

4.4.1 Preissituation

Die Höhe der Brennstoffkosten besitzt einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines von Altholzanlagen zur Stromerzeugung und gleichzeitigen Wärmebereitstellung. 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 4-7 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 4-7: Entwicklung der Altholzpreise (frei Verwerter) im Zeitraum 1998 bis 2006 (*Basis Juli 2006) /79/

Die Tabelle 4-9 gibt differenziert nach Art der Althölzer und Regionen die Preisveränderungen im Zeitraum Juli 2004 bis Juli 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, kurzzeitig deutlich erhöht /80/. 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/a) /87/. Entsprechend ist seit Mitte 2005 auch ein (teilweise deutlicher) Rückgang der Preise für behandelte und kontaminierte Althölzer zu verzeichnen. Bis Mitte 2006 sprechen sowohl Aufbereiter als auch Verwerter von einem weitgehend entspannten Altholzmarkt. Der Süden Deutschlands ist durch ein relativ hohes Altholzaufkommen charakterisiert; Übermengen werden nach Italien exportiert. In den neuen Bundesländern führten geplante Revisionen sowie ungeplante, technisch bedingte Stillstände zu einer ausgewogenen Versorgungslage /86/.

Tabelle 4-9: Verwerter-Ankaufspreise für verschiedene Altholzsortimente und Regionen /80/ff.

| [€/t] | Juli 2006 | Januar 2006 | Oktober 2005 | Juli 2005 | Januar 2005 | Oktober 2004 | Juli 2004 |
|-------------------------------|-----------|-------------|--------------|-----------|-------------|--------------|-----------|
| <i>Unbehandeltes Altholz</i> | | | | | | | |
| Hackschnitzel (0-150 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | 25-34 | 23-32 | 23-32 | 23-32 | 23-32 | 20-30 | 20-28 |
| - Nordwesten | 25-32 | 25-32 | 25-30 | 25-30 | 22-32 | 20-30 | 20-27 |
| - Süden | 24-34 | 20-30 | 23-30 | 23-30 | 23-32 | 20-30 | 20-30 |
| vorgebrochen (0-300 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | 13-20 | 12-18 | 12-18 | 12-18 | 13-18 | 12-17 | 10-16 |
| - Nordwesten | 12-18 | 12-17 | 12-17 | 12-17 | 10-17 | 9-15 | 5-13 |
| - Süden | 13-18 | 10-17 | 10-17 | 10-17 | 12-18 | 12-18 | 12-18 |
| <i>Behandeltes Altholz</i> | | | | | | | |
| Hackschnitzel (0-150 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | 6-17 | 5-15 | 8-14 | 10-18 | 10-19 | 8-16 | 5-18 |
| - Nordwesten | 6-15 | 5-13 | 7-14 | 10-16 | 10-17 | 8-15 | 8-15 |
| - Süden | 3-12 | 3-12 | 7-15 | 7-17 | 7-18 | 7-15 | 5-12 |
| vorgebrochen (0-300 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | -4-9 | -4-8 | -2-8 | 0-9 | -1-10 | -2-8 | 0-10 |
| - Nordwesten | -8-6 | -8-5 | -6-5 | -6-5 | -7-5 | -10-3 | -10-3 |
| - Süden | -9-6 | -9-6 | -6-7 | -6-8 | -5-8 | -7-5 | -7-5 |
| <i>Kontaminiertes Altholz</i> | | | | | | | |
| Hackschnitzel (0-150 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | -7-15 | -7-15 | -5-14 | -5-18 | -8-19 | -8-14 | -8-12 |
| - Nordwesten | -9-13 | -9-13 | -8-13 | -5-13 | -8-12 | -8-12 | -10-7 |
| - Süden | -8-12 | -8-12 | -6-15 | -6-15 | -8-14 | -10-14 | -10-5 |
| vorgebrochen (0-300 mm) | | | | | | | |
| - Nordosten | -10-5 | -10-2 | -10-4 | -10-5 | -10-5 | -15-5 | -10-3 |
| - Nordwesten | -20-2 | -20-2 | -20-3 | -20-5 | -25-7 | -25-7 | -25-7 |
| - Süden | -15-0 | -15-0 | -15-0 | -15-0 | -20-0 | -25-0 | -20 - - 5 |

4.4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 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 4-8 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“ – „zunehmende Wirtschaftlichkeit mit zunehmender Anlagengröße“). 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 /88/ f.. 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.

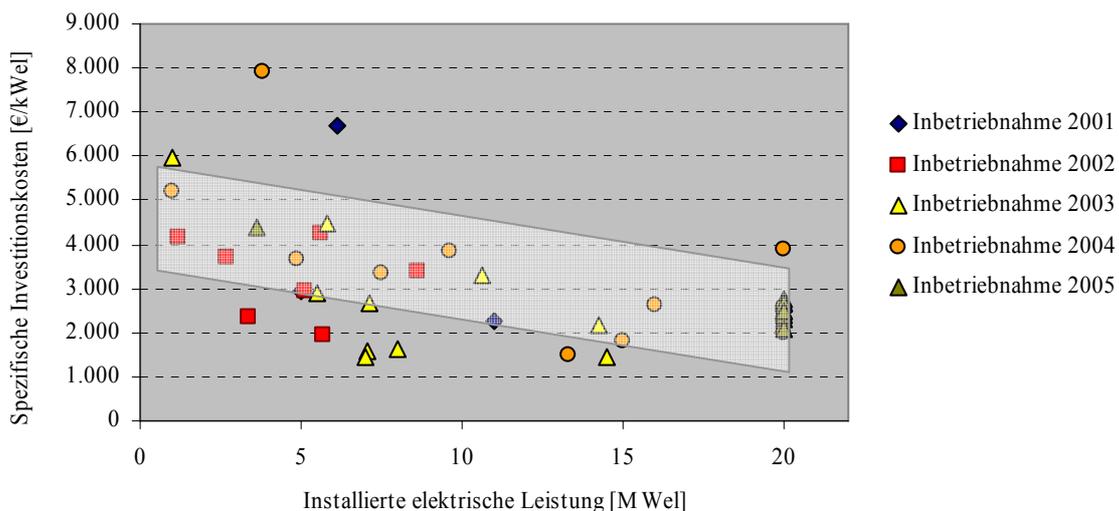


Abbildung 4-8: Spezifische Investitionskosten von im Zeitraum 2001 bis 2005 realisierten Biomasse(heiz)kraftwerken auf Altholzbasis

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 /90/ und Finanzierung durch

Auflage eines Genussscheines (z. B. Projektträger: Prokon Energiesysteme Nord /91/). 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 /92/, /93/ 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 Wärmezeugung 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 4-10): 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 die A I/II-Hölzern, entspricht der Grundvergütung für Biomasseanlagen mit einer jährlichen Degression bei Neuanlagen von 1,5 %. Die Anlagen sind zudem KWK-bonusberechtig. 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 4-10: 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 [€ct/kWh _{el}] | | | | KWK-Bonus ^b [€ct/kWh _{el}] | Technologie-Bonus ^c [€ct/kWh _{el}] |
|-------------------------|--|----------------------|--------------------|---------------------|---|---|
| | 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 4-11 zusammengefasst.

Tabelle 4-11: Wesentliche Randbedingungen und Stromgestehungskosten für Althölzer in bestehenden Biomasse(heiz)kraftwerken bei Wärmeauskopplung (Bezugsjahr 2002/2003) /5/

| 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 /94/. 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 /63/, mit entsprechenden Konsequenzen für die Ascheentsorgungskosten.

Die Abbildung 4-9 gibt das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse der Wirtschaftlichkeit eines im Jahr 2003 in Betrieb genommenen 20 MW_{el}-Altholzwerkwerkes basierend auf den Annahmen und den Projektansätzen im Jahr 2002/2003 (im wesentlichen: 7500 Volllaststunden, Altholzpreis von 20 €/t aufbereitet frei Anlage, Wartung und Instandhaltung: 4 %/a der Investitionskosten) wieder /1/.

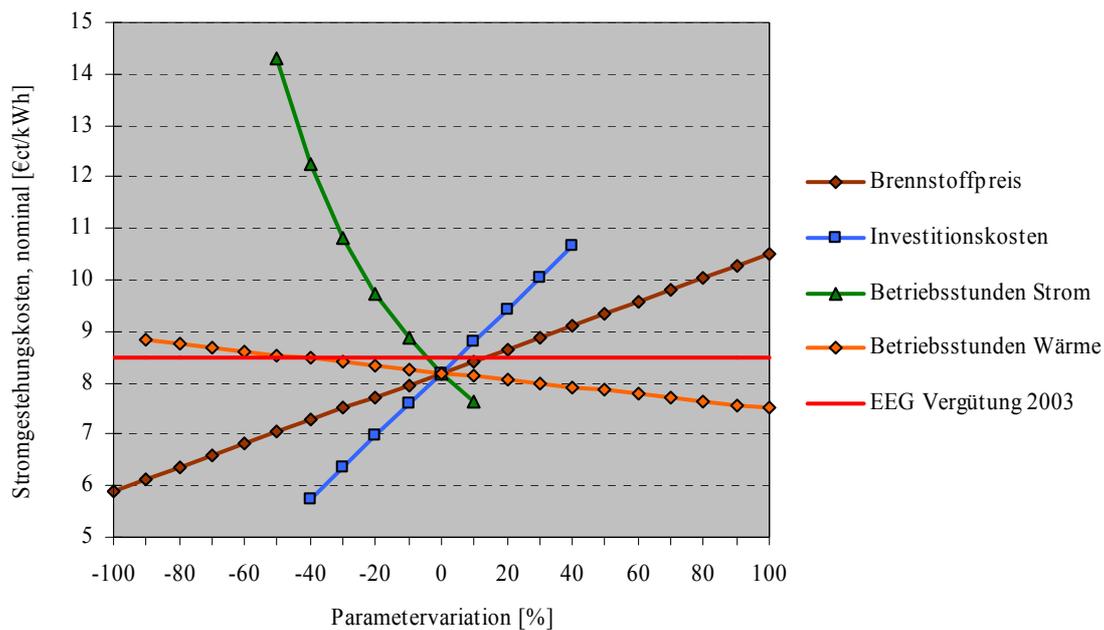


Abbildung 4-9: Sensitivitätsanalyse einzelner Faktoren auf den Stromgestehungspreis bei einem Biomasseheizkraftwerk 20 MW_{el} (Brennstoffpreis 20 €/t)

Die Stromgestehungskosten reagieren äußerst sensitiv auf die Betriebsstunden der Stromerzeugung. Minderungen nur um 10 % gegenüber dem ursprünglichen Planungsansatz führen zu um 0,5 €ct/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 Altholzpreise. 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 €/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 4-10) 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 bis zur Jahresmitte 2006 in Betrieb genommen worden 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 Projektrandbedingungen 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. Juni 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 €/kWh_{el} und in den Folgejahren weiter abgesenkt wird (vgl. Tabelle 4-10) ist selbst bei optimalen Randbedingungen (bei minimalen Stromgestehungskosten von 7 €/kWh_{el}) keine Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

- * Fall zwei charakterisiert Projekte, die erst nach dem 28. Juni 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 /96/ – 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. Schwerpunktmäßig 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. Dampfmotoren 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 4-12 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 4-12: Randbedingungen und Stromgestehungskosten für Althölzer A I/II in Biomasse(heiz)kraftwerken bei Wärmeauskopplung (Bezugsjahr 2005/2006)

| Anlagengröße (installierte elektr. Leistung) | MW _{el} | 0,5 | 1 | 5 | 20 |
|--|------------------|-------|--------|--------|---------|
| <i>Anlagentechnische Daten</i> | | | | | |
| Heizwert Altholz I/II ^a | MJ/kg | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Elektr. Wirkungsgrad ^b | % | 12 | 15 | 17 | 27 |
| Vollbenutzungsdauer, Strom | h/a | 6.000 | 6.500 | 7.500 | 7.800 |
| Feuerungswärmeleistung | MW _{th} | 4,3 | 9,5 | 20,0 | 67 |
| Ausgekoppelte Nutzwärme (ca.) | MW _{th} | 2 | 3 | 7 | 20 |
| Vollbenutzungsdauer, Wärme | h/a | 4.000 | 4.300 | 2.500 | 2.600 |
| Jährlicher Brennstoffverbrauch | t/a | 7.900 | 17.200 | 41.700 | 145.200 |
| Personalbedarf | [-] | 2 | 6 | 13 | 18 |
| <i>Kostenkenngrößen</i> | | | | | |
| Kalkulat. Betrachtungsdauer | a | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Kalkulat. Mischzinssatz (real) ^c | %/a | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,1 |
| Brennstoff Altholz A I/II ^d | €/t | 0-20 | 0-20 | 10-35 | 10-35 |
| Wärmevergütung | €/MWh | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Spez. Personalkosten (pro Person) | T€/a | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Spez. Instandhaltungskosten ^e | %/a | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| Spez. Kosten für Versicherung, Verwaltung, Pacht ^e | %/a | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Spez. sonstige variable Kosten ^e | %/a | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Bruttoinvestition | T€ | 3.500 | 5.200 | 18.000 | 48.000 |
| <i>Spezif. Stromgestehungskosten (nominal)</i> | | | | | |
| Altholz I/II, 0 bzw. 10 €/t | €/kWh | 18,0 | 14,8 | 12,1 | 5,8 |
| Altholz I/II, 20 bzw. 35 €/t | €/kWh | 24,0 | 20,5 | 16,7 | 8,7 |

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

^b für KWK-Anlagen

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

^d 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.

^e bezogen auf Bruttoinvestition

In Abbildung 4-10 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 2006 sowie inklusive KWK-Bonus (sowie für die ORC-Anlage im Leistungsbereich von 500 kW_{el} den Technologiebonus). Mit zunehmender Anlagenleistung sinken die Stromgestehungskosten deutlich ab. Sichtbar wird ebenfalls, dass im sehr kleinen Leistungsbereich die Stromgestehungskosten wesentlich schneller steigen als die Einspeisevergütung.

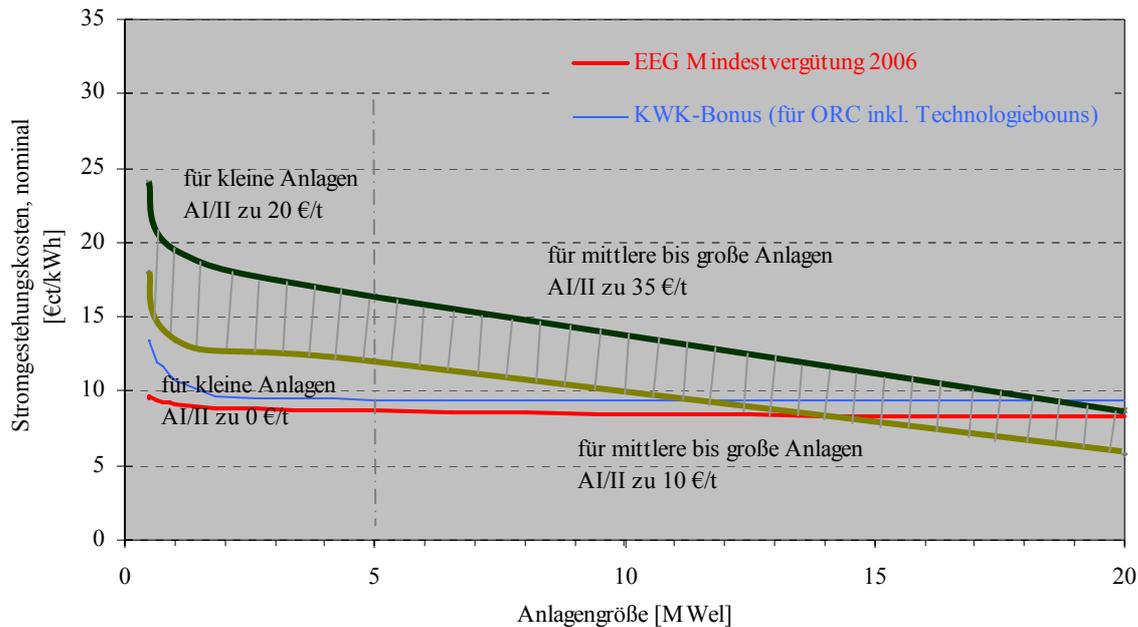


Abbildung 4-10: nominale Stromgestehungskosten für Altholz in Biomasse(heiz)kraftwerken in Abhängigkeit von der Anlagengröße; Annahme Brennstoffpreis: 0 bis 35 €/t für Altholz A I/II

Die beiden kleinen Anlagen sind unter den getroffenen Randbedingungen selbst bei günstigen Brennstoffkosten und trotz höherer EEG-Vergütung inklusive der Boni deutlich von einem kostendeckenden Anlagenbetrieb entfernt. In Einzelfällen können insbesondere eine niedrigere Kapitalinvestitionskosten (z. B. durch Inanspruchnahme einer denkbaren Investitionsförderung) eine positive Investitionsentscheidung begründen. Die wirtschaftliche Darstellbarkeit der Vorhaben verbessert sich deutlich mit der Größe. Das 5 MWe_{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 MWe_{el}-Anlage ist 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 MWe_{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 Wärmeauskopplung sowie der Brennstoffpreis haben einen wesentlichen Einfluss auf die Stromgestehungskosten²¹. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass selbst unter äußerst günstigen Bedingungen ein solches Biomasse(heiz)kraftwerk nicht wirtschaftlich darstellbar betrieben werden kann. Die Veränderung der Volllaststunden hat mit Abstand den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

²¹ Real steigt – auf ein Jahr gesehen – die auf eine kWh_{el} bezogene Vergütung (EEG-Grundvergütung und KWK-Bonus) mit sinkenden Volllaststunden Strom bzw. steigender Volllaststunden Wärme infolge des sich dadurch verschiebenden Verhältnisses von Stromabgabe und Wärmeauskopplung geringfügig an (z. B. ca. 4 % bei einer um 50 % erhöhten Wärmeauskopplung).

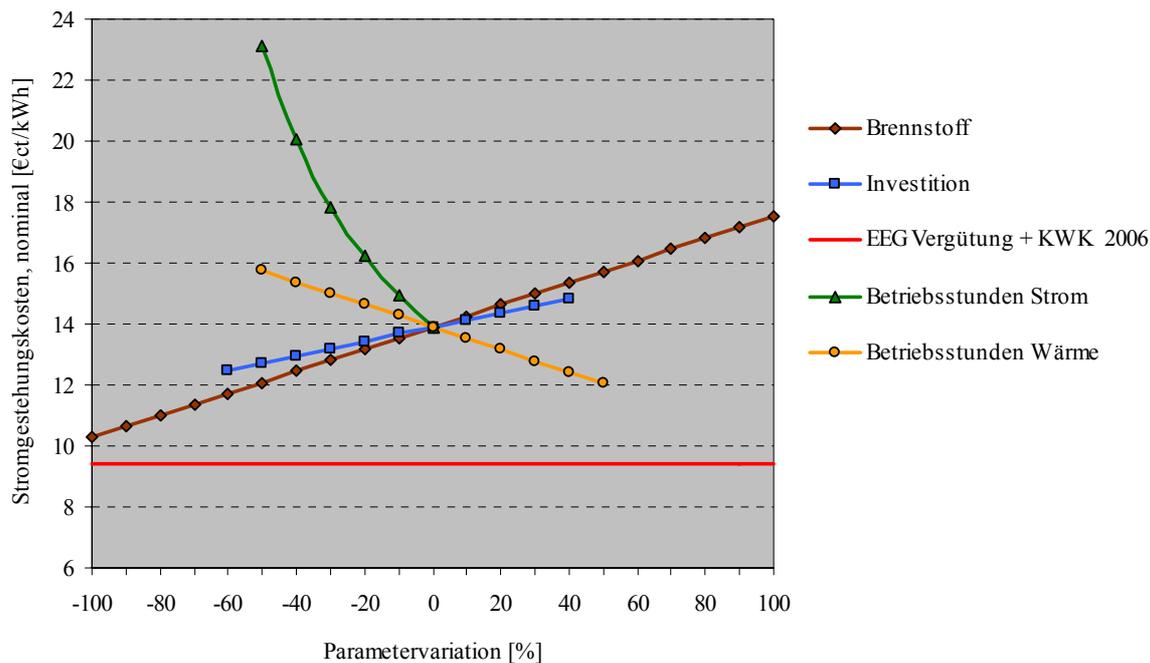


Abbildung 4-11: Sensitivitätsbetrachtung einzelner Faktoren auf den Stromgestehungspreis bei einem Biomasse(heiz)kraftwerk 5 MW_{el}; Annahme Brennstoffpreis: 20 €/t

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 sind die letzten Kraftwerke mit Verwendung von A III/IV-Hölzern in der ersten Jahreshälfte 2006 in Betrieb gegangen, da

bei später fertig gestellten Anlagen – unabhängig vom Zeitpunkt der immissionsrechtlichen 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 unmittelbar²², kann aber auch erst stark zeitverzögert eintreten²³. 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 ergeben. Nachfolgend wird trotz zahlreichen Schwierigkeiten bei der Bestimmung des

²² Ersatz von Holzprodukten durch andere spiegelt sich in den Holzproduktionsabfällen sofort wieder.

²³ Werden Holzfenster beim Gebäudeneubau bzw. bei der Gebäudesanierung durch Kunststofffenster ersetzt, zeigt es sich erst in Jahren im verringerten holzbasierten Altfensteraufkommen.

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 Altholzgesamtanfall²⁴, 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 4-13: Bundesweites Aufkommen an Altholz insgesamt für das Jahr 2003 und Tendenz bis 2010 in den verschiedenen Anfallsbereichen

| | Altholzanfall [kt/a] | 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 4-3 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 4-1 davon auszugehen, dass sämtliche Altholzklassen eine Mengenausweitung erfahren bzw. die Verschiebungen zwischen den einzelnen Altholzkategorien relativ klein bleiben werden. Um vom inländischen Aufkommen Rückschlüsse auf die Inlandsverfügbarkeit schließen zu können, ist wiederum der

²⁴ 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.

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/a betrug, erscheinen bis zum Jahr 2010 weitere, jedoch deutliche geringere Erhöhungen möglich, so dass das Gesamtaufkommen in einer Größenordnung von 7 Mio. t/a liegen könnte. Gegebenenfalls kommt es jedoch auch zu einem gegenläufigen Trend, nachdem zusätzliche Abfallverbrennungskapazitäten 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 Altholznachfrage

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/a abgeschätzt (vgl. Kapitel 4.3.2). Für den Fall, dass sich die gute Konjunktur in der Holzwerkstoffindustrie weiter fortsetzt /97/, 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} ²⁵. Ein Einsatz von Altholz würde perspektivisch einen großen Einfluss auf die Verschiebung der Angebots- und Nachfragekonstellation haben. Dies ist jedoch unter

²⁵ in Größenordnungen von etwa 1.000 kt/a je 500 MW_{FWL} -Anlage und spezifischen Brennstoffanforderungen

günstigen Rahmenbedingungen (d. h. in erster Linie Überwindung technisch-ökonomischer Barrieren) erst nach 2010 zu erwarten.

Stromerzeugungsanlagen. Es kann abgeschätzt werden, dass von den im Jahr 2005 152 in Betrieb befindlichen Biomassekraftwerken (vgl. Kapitel 2.1) etwa 105 ausschließlich (bzw. zusammen mit NawaRo-Holz) Altholz einsetzen. Der Altholzeinsatz bewegte sich 2005 bei etwa 3,8 Mio. t/a. Für 2006 beträgt die neu installierte elektrische Leistung etwa 60 MW_{el} bei einem Altholzbedarf von in Summe 4,2 Mio. t/a.

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 4.4.2), 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 4-14).

Tabelle 4-14: 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 bestehenden Altholzkraftwerke (wesentlich) beeinflusst. Wie die Betriebserfahrungen der vergangenen Jahre zeigen, erreichen bestehende Anlagen vielfach nur (deutlich) geringere Volllaststunden als geplant (vgl. Kapitel 4.4.2). 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 3,4 TWh_{el} (2005) auf ca. 5 TWh_{el} im Jahr 2010 erhöhen und der Altholzeinsatz von 3,5 auf ca. 5,5 Mio. t/a steigen (Tabelle 4-15). Der letztere Wert korrespondiert gut mit der Altholzaufkommenserhöhung im Zeitraum 2005 bis 2010 von etwa 1,5 Mio. t/a, 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 4-15: Altholzkraftwerke in Deutschland in den Jahren 2005 und 2010 im Vergleich

| | 2005 | 2010 |
|---|------|------|
| Installierte elektrische Leistung (MW _{el}) | 705 | 850 |
| Stromerzeugung (TWh _{el}) | 3,4 | 5,0 |
| Altholzeinsatz (Mio. t/a) | 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/a 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/a; bilanztechnisch erfasst werden dagegen nur etwa 3,8 Mio. t/a.

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. Anlagen, die nach dem 30. Juni 2006 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 im Zuge der BSE-Krise, 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 umfasst Zoomasse 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 Exkremete (d. h. Gülle) zählen.

Tierische Nebenprodukte, wie sie in den nachfolgenden Untersuchungen behandelt werden sollen, umfassen einerseits die 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 beinhaltet der Begriff tierische Nebenprodukte ebenso die aus dem Rohmaterial hergestellten Produkte (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. Nachfolgend werden die – gegenwärtig bestehenden – wesentlichen rechtlichen Rahmenbedingungen im Überblick vorgestellt (vgl. Abbildung 5-1).

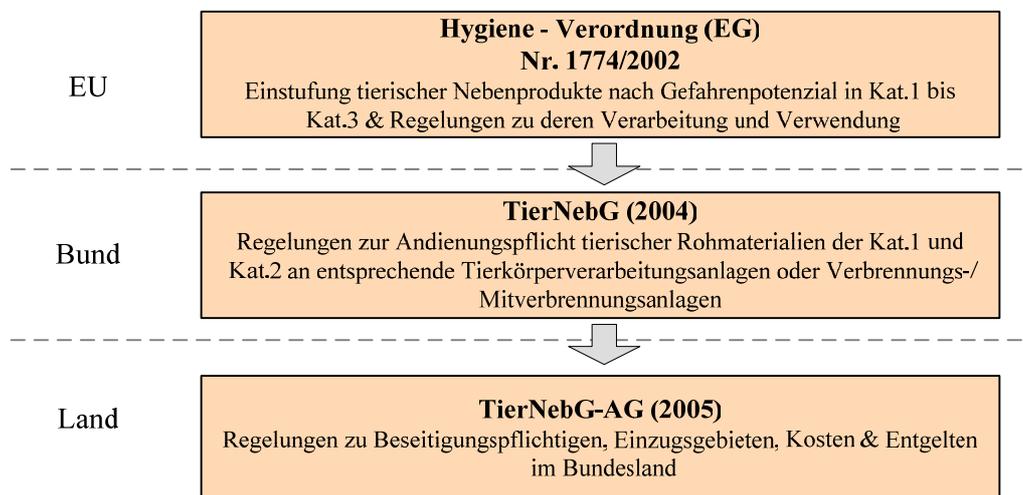


Abbildung 5-1: Rechtliche Rahmenbedingungen für die Einordnung, Verarbeitung und Verwertung tierischer Nebenprodukte

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 (z. B. BSE-verdächtiges Material), 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 /18/, /43/. Mit Ausnahme der Biodieselherstellung und des Hochdruck-Hydrolyse-Biogas-Verfahrens²⁶, denen die

²⁶ Gegenwärtig gibt es in Malchin eine Biodieselanlage, die TKV St. Erasmus erprobte das HDHB-Verfahren in einer Demonstrationsanlage.



Drucksterilisation nach Methode 1 (EG) 1774/2002 vorangestellt ist, ist über die Praxistauglichkeit dieser Verfahren zum Zeitpunkt der Bearbeitung nichts bekannt.

Verarbeitungsbetriebe tierischer Nebenprodukte sind gemäß behördlicher Genehmigung (i. d. R. durch die zuständigen Landesbehörden wie Veterinärämter und Immissions-schutzbehörden) 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 /13/. Gemäß Hygiene-Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 müssen Rohmaterialgemische entsprechend dem Roh-materialanteil mit dem nächst höherem 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 /15/, /16/.

Tabelle 5-1: Kategorisierung der tierischen Rohmaterialien nach Verordnung (EG) 1774/2002 /12/, /15/, /16/ (Art. 4 ff.)

| (Risiko-) Kategorie | Art/Herkunft des Rohmaterials | Vorschriften hinsichtlich Hygienisierung und anschließender Verwertung daraus hergestellter 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 Medikamentenrückstände 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 erforderlichlichem Nachweis

^c Eine Ausnahmerolle nehmen hierbei Gülle, von Magen und Darm getrennter Magen- und Darminhalt und Kolostrum (Kolostral- bzw. sog. 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 Tierkörperbeseitigungsgesetz²⁷ (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 /19/. 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.

Darüber hinaus regelt die Verordnung zur Durchführung des Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes (TierNebV) vom Juli 2006 u. a. die spezifische Anforderungen für Küchen- und Speiseabfälle und an Betriebe mit Nutztierhaltung, Transport- und Nachweisverpflichtungen, die Anforderungen an die Verarbeitung, Behandlung und Entsorgung tierischer Nebenprodukte (u. a. für die energetische Verwertung tierischer Nebenprodukte in Biogas- und Kompostierungsanlagen) sowie Registrierungen und Zulassungen /190/.

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 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 bedingte 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 (mit Ausnahme von Gülle, Magen- und Darminhalt und Kolostrum) sind dagegen auch weiterhin nicht als Biomasse im Sinne der BiomasseV anerkannt /3/.

²⁷ Gesetz über die Beseitigung von Tierkörpern, Tierkörperteilen und tierischen Erzeugnissen

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 düngemittelrechtlichen Vorschriften. Diese sind das (i) Düngemittelgesetz (DüMG) von 1977, (ii) die Düngemittelverordnung (DüMV) von 2003 sowie (iii) die Probenahme- und Analyseverordnung - Düngemittel von 1977 /30/.

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 /42/.

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)²⁸.

5.3.1 Aufkommen an Rohmaterial im Bundesgebiet

Die Menge des im Bundesgebiet anfallenden Rohmaterials steht in direktem Zusammenhang mit der Fleischnettoerzeugung (d. h. Schlachtabfall) und den sich daraus ergebendem Schlachtabfällen. 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. /6/

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

²⁸ Vormals Verband der Fleischmehlindustrie

Großteil der Anlagen in Bayern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen (siehe Abbildung 5-7).

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. /23/):

- * **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 Großbetrieben²⁹ getrennt abgeholt. Bei Kleinbetrieben erfolgt keine Trennung /38/.

Wie die Statistik des VVTN widerspiegelt, ist die Menge des jährlich verarbeiteten Rohmaterials seit dem Jahr 2001 (ca. 2,85 Mio. t) bis 2005 (ca. 2,34 Mio. t) gesunken. 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 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

²⁹ Großbetriebe sind Betriebe, bei denen regelmäßig monatlich mehr als 75 t Schlacht- und Zerlegeabfälle (ohne Schlachtblut) anfallen und in Großcontainern entsorgt werden.

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 /12/. 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 /16/. 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.

Ausgewähltes Rohmaterial der Kat. 2 (d. h. ausschließlich Exkreme von Nutztieren und sauber vom Magen-Darm getrennte Magen-Darm-Inhalte sowie Kolostrum und Milch) darf – eine entsprechende Genehmigung im Rahmen der TierNebV vorausgesetzt – ohne gesonderte Vorbehandlung in Biogasanlagen eingesetzt werden. Mit einer behördlichen Sondergenehmigung (vgl. Kapitel 5.2) 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 /16/.

Ein Überblick über die Verarbeitung und Verwertung von Rohmaterial ist in Abbildung 5-3 dargestellt.

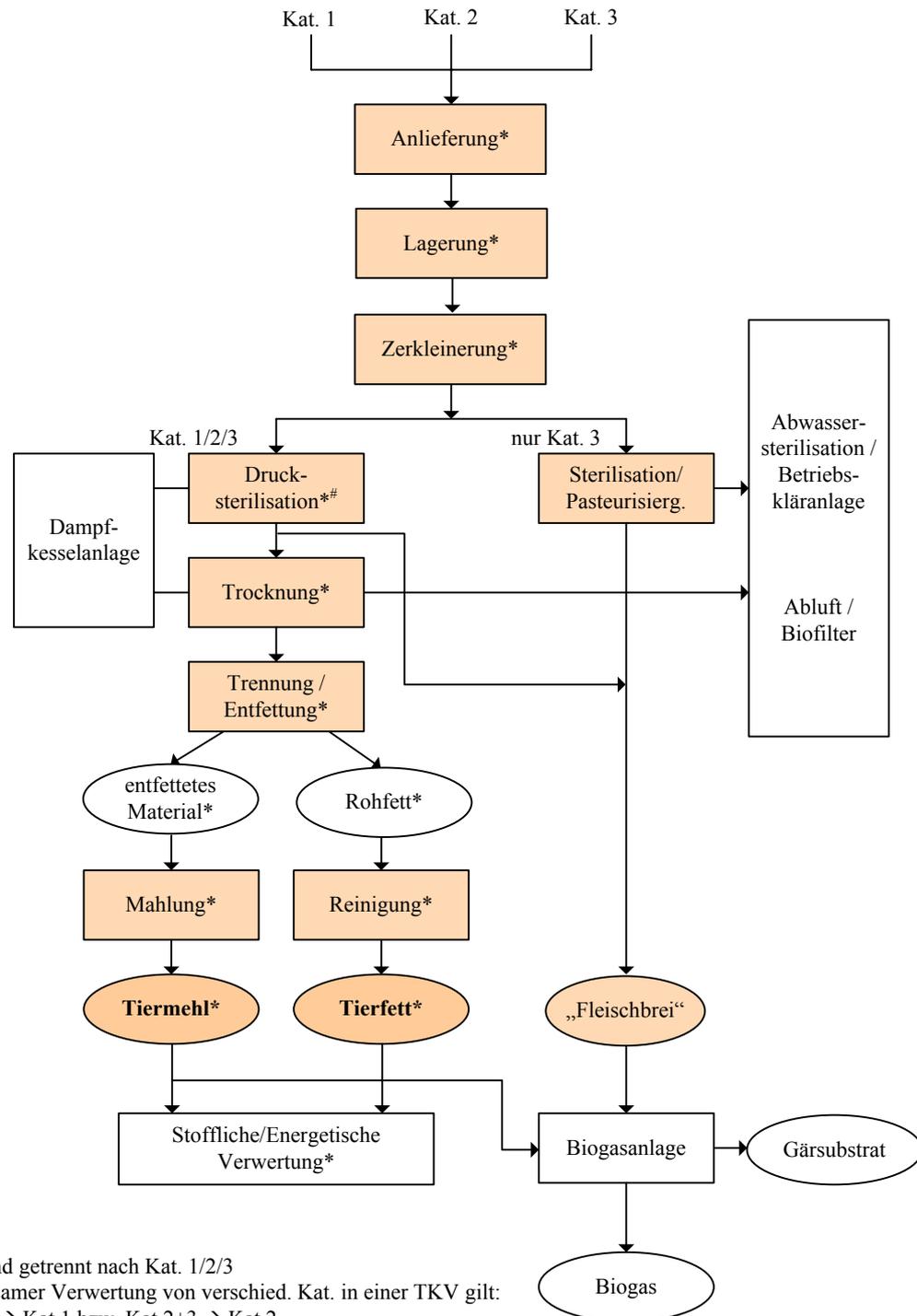


Abbildung 5-3: Mögliche Verfahrensprozesse bei der Tierkörperbeseitigung (für die Sterilisation zu Fleischbrei kommen nur Rohmaterialien der Kat. 3 in Frage) /11/, /15/

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) /22/.

Bestandsaufnahme bezüglich der anfallenden Produkte

Die in den vergangenen Jahren vom VVTN erfassten Produktmengen sind in Abbildung 5-4 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 /6/. Analog dem Rohmaterialaufkommen wird Flüssigfutter ab 2004 nicht mehr aufgeführt.

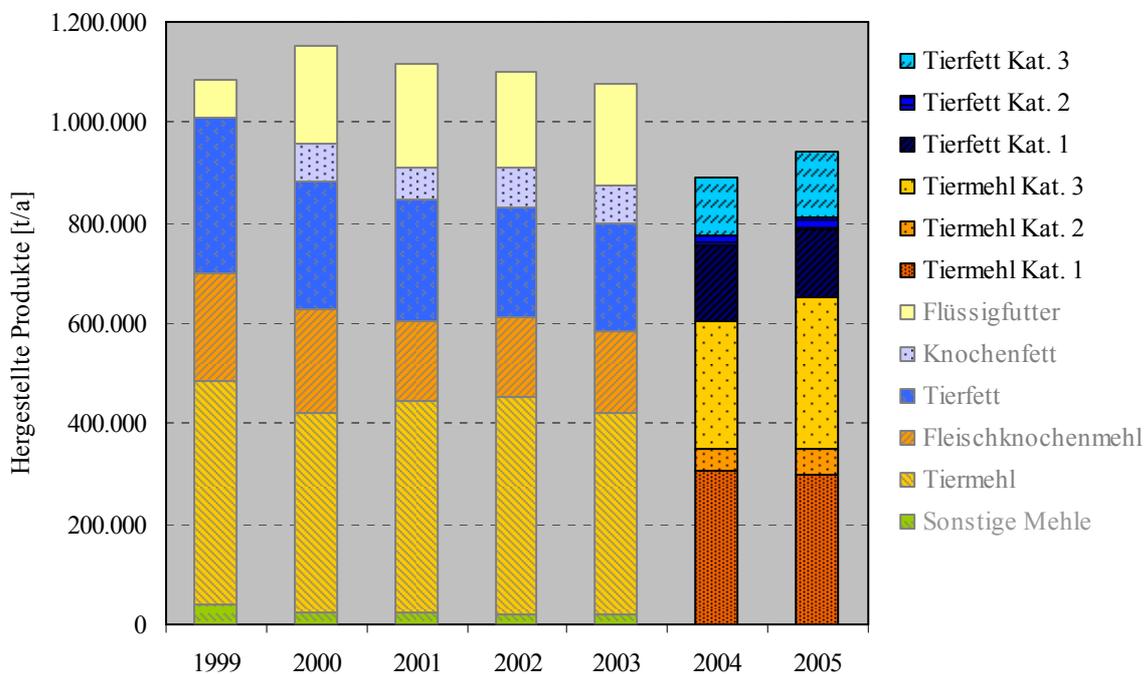


Abbildung 5-4: Verteilung der in der hergestellten tierischen Nebenprodukte von 1999 bis 2005 /7/ bis /10/, /14/

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 /15/. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass es kaum geeignete Marker gibt. Im Rahmen von EU-Ringversuchen wird gegenwärtig u. a. der Marker GTH (nicht natürliches, biologisch abbaubares Fett) wird in Lünen, Deutschland, sowie Guer und Plouvara, Frankreich, getestet /22/.

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 (2005 etwa 11 % aller Mehle sowie etwa 3 % 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 Oleochemie³¹. 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 bis 2004 (etwa 46 % aller Fette) signifikant; für 2005 ist hingegen ein Zuwachs zu verzeichnen.
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 Verschiebung der thermischen Beseitigung hin zur Verwertung stattgefunden, wenngleich der Anteil der eingesetzten Mehle (2005 etwa 51 % aller Mehle) und Fette (2005 etwa 23 %) insgesamt gesunken ist. Fette der Kat. 1 (2005 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 /12/.

³¹ Aufgrund der Prozessparameter bei der Herstellung von Ölsäure dürfen mit Genehmigung ebenso Kat. I-Fette verwertet werden.

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

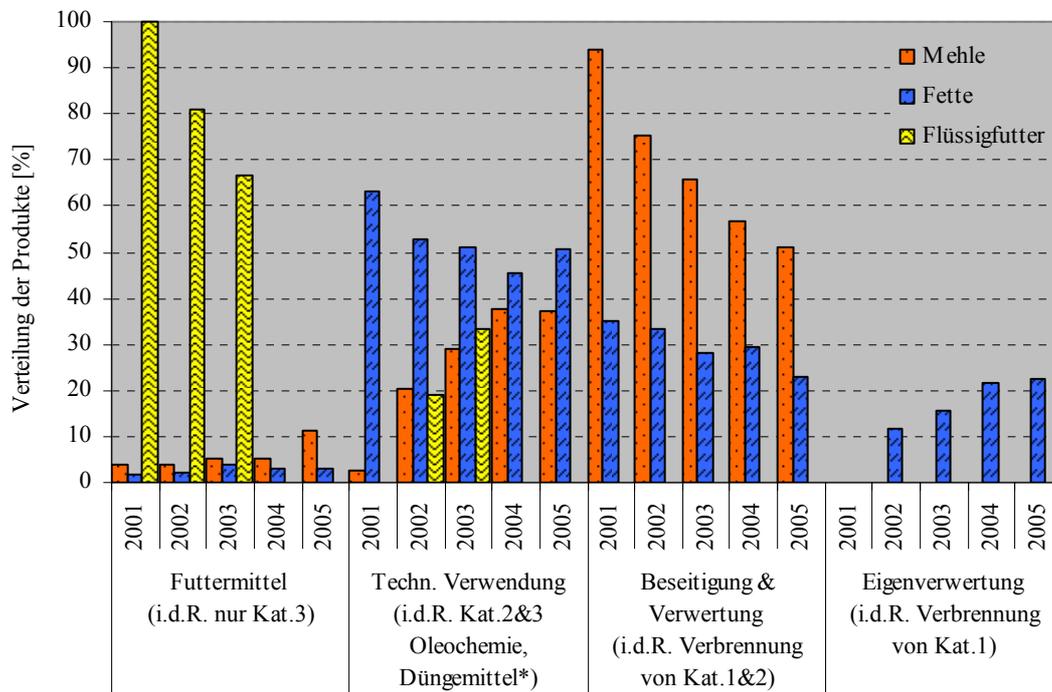


Abbildung 5-5: Verteilung der Nutzung und Verwertung von TNP zwischen 2001 bis 2004(*inklusive Gärreste aus Biogasanlagen) /7/ bis /10/, /14/

Die Veränderung in den o. g. Nutzungs- und Verwertungspfaden wird in Abbildung 5-6 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.

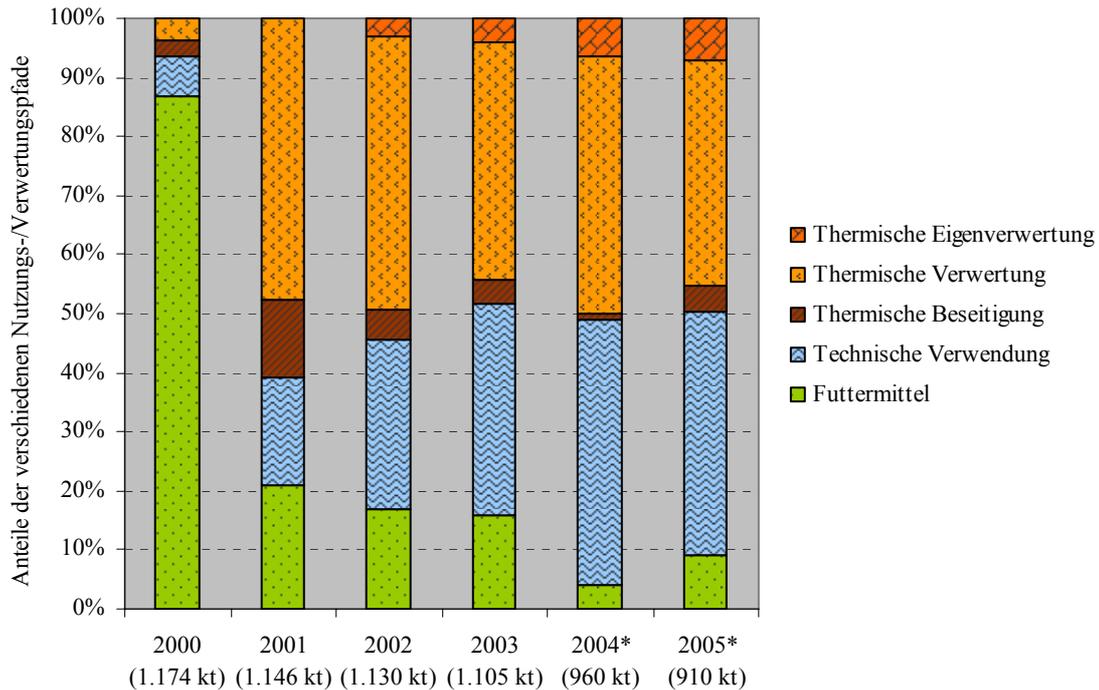


Abbildung 5-6: Entwicklung der stofflichen Nutzung und energetischen Verwertung von TNP zwischen 2000 und 2005 (* exklusive Flüssigfutter) /7/ bis /10/, /14/

5.3.3 Regionale und überregionale Stoffströme

Für die Beurteilung der relevanten Stoffströme ist zum Jahr 2005 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.

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 vorgenommen /6/. 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 5-7.

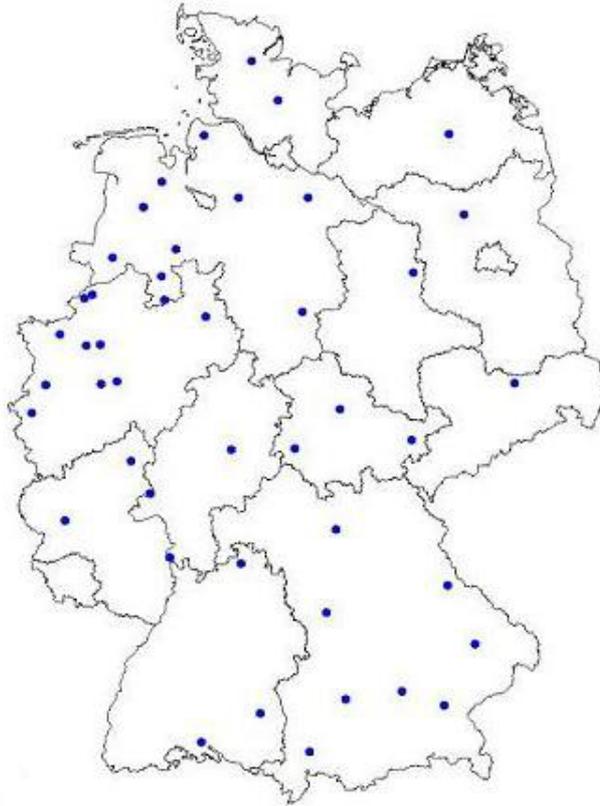


Abbildung 5-7: Kartographischer Überblick über TKV in Deutschland /12/

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 5-8. Demnach werden Tiermehle und Tierfette genutzt in

- * 30 Zementwerken – darunter 20 Anlagen, die nur Tiermehl, drei Anlagen, die nur Tierfett sowie vier Anlagen die beides als Sekundärrohstoff nutzen
- * 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
- * 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 /45/ f..

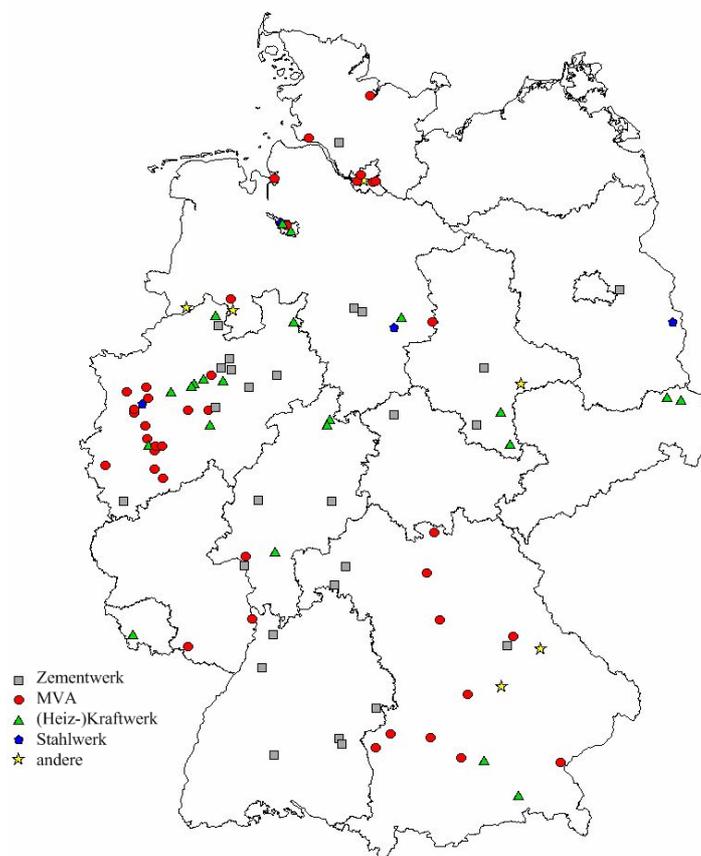


Abbildung 5-8: Übersicht zu Anlagen für die thermische Beseitigung und die energetische Verwertung durch Mitverbrennung in Deutschland /28/

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/-fette der Kat. 2 und 3, die (Mehle) 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 eine lückenlose Prüfung nach Verlassen des Herstellungsbetriebes zum Endverbraucher schwierig. Dies ist bedingt durch teils noch offene Gesetzeslücken im nationalen und Gemeinschaftsrecht. Die Pflicht zu eindeutigen Handelspapieren seitens der Hersteller, Händler und Verwender von TNP ist in der TierNebV geregelt; innerhalb Europas gibt es – mit Ausnahme des abfallrechtlichen Notifizierungsverfahrens – kein einheitliches Meldewesen für Ein- und Ausfuhren von TNP /37/, /42/.

Ein transparentes Abbild der Import-/Exportströme ist über die statistischen Daten nur schwer greifbar. Beispielsweise sollen im Jahr 2003 79 kt Tiermehl von Dänemark nach Deutschland

importiert worden sein /37/. Allein nach Schleswig-Holstein wurden dabei im Jahr 2003 etwa 16 kt an Tiermehl importiert; für das Jahr 2004 waren es mehr als 20 kt. In Schleswig-Holstein wurden im Jahr 2003 etwa 44 kt, 2004 mehr als 32 kt in den zugelassenen Mitverbrennungsanlagen³² entsorgt /42/. Nach Bayern worden 2004 etwa 38 kt 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 sehr geringen Anteil aus dem Drittland Indien. Bei dem verbrachten Tiermehl handelt es sich vornehmlich um Mehl der Kat. 1, das entsprechend verbrannt wurde³³. Aus Bayern exportiert worden 2004 hingegen 0,5 kt Tiermehl (etwa 77 % weniger als im Vorjahr) sowie ca. 18 kt Tierfett /55/.

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 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 5-2 und Abbildung 5-9 entnommen werden. Der Anteil von Tiermehl am Gesamtpotenzial tierischer Nebenprodukte liegt dabei bei 48 bis 58%.

³² Nach /28/ sind dies drei Anlagen, darunter zwei Müllverbrennungsanlagen.

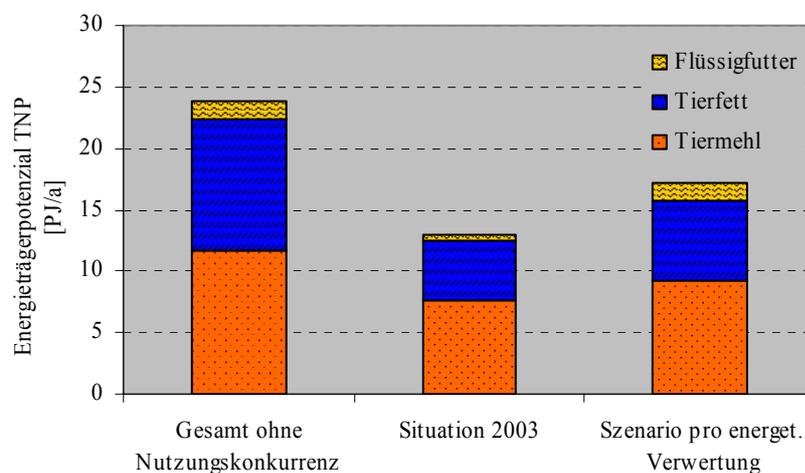
³³ In den 18 zugelassenen Verbrennungsanlagen worden 2004 etwa 73.700 t/a Tiermehl verbrannt. Die Jahre zuvor war die erheblich mehr (2002: 152.000 t/a; 2003: 86.700 t/a).

Tabelle 5-2: *Energieträgerpotenzial tierischer Nebenprodukte /174/*

| [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 5-5 (Flüssigfutter über Biogasanlagen erst energetisch, Gärreste stofflich verwertet)

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

Abbildung 5-9: *Energieträgerpotenzial tierischer Nebenprodukte*

Gemessen am energetischen Gesamtpotenzial von Biomasse in Deutschland, das etwa 920 bis 1.360 PJ/a³⁴ beträgt, wäre der Anteil der tierischen Nebenprodukte nur marginal (ca. 1 bis 2 % bezogen auf „Situation 2003“).

5.4 Ökonomische Aspekte

Bei der Betrachtung der ökonomischen 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.

³⁴ Die Spannweite 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.

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.

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 Gesamtaufwandes ein. 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 /23/.

Preise für die stoffliche und energetische Nutzung von TNP

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 Heizwerten³⁵ je nach Auslastung der MVA vertraglich geregelte Abfallannahmemengen. Bei Vollaustattung der MVA liegen die Entsorgungskosten für Tiermehl wesentlich höher (etwa 130 bis 460 €/t je nach MVA Jahreskapazität³⁶) als wenn die MVA freie Kapazitäten besitzt und durch die Mitverbrennung von Tiermehl zu einer wirtschaftlich besseren Auslastung der Anlage führt.

³⁵ 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.

³⁶ 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.

- * 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 /23/. 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 5-3 entnommen werden /24/.

Tabelle 5-3: 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 für TKV-Betriebe

Derzeit kann kaum abgeschätzt werden, in welchem Maße sich mit der Änderung der TA Siedlungsabfall (TASi) zum 01. Juni 2005 kurz- bis mittelfristig die Abnahmemengen sowie die Abnehmerstruktur für Produkte aus Tierkörperverarbeitungsbetrieben zur thermischen Verwertung geändert haben. So ist beispielsweise in der Zementindustrie nicht von signifikanten Änderungen hinsichtlich ihres Sekundärrohstoffeinsatzes worden, zu dem maßgeblich Tiermehle und -fette gehören, infolge der neuen TASi aus, wenngleich 2005 eine gewisse Stagnation hinsichtlich des TNP-Einsatzes zu verzeichnen war /32/.

5.4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 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 Basisdaten beziehen dabei auf die Rahmenbedingungen im Frühjahr 2005:

- * 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. Vergärung von TNP 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.
- * Als „Zielstromgestehungskosten“ werden die Grundvergütungssätze des novellierten EEG (d. h. ohne Berücksichtigung von NawaRo- und KWK-Boni) zugrunde gelegt.
- * Fördermöglichkeiten (wie z. B. Teilschuldenerlass, zinsgünstige Darlehen und Strukturförderung) durch den Bund oder das Land bleiben unberücksichtigt.

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 /47/.

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} angenommen, 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 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 5-4 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 5-4: Randbedingungen und Stromgestehungskosten für TNP-Biogasanlagen (Bezugsjahr 2005)

| Anlagengröße (installierte elektr. Leistung) ^a | kW _{el} | 50 | 150 | 350 | 1.000 |
|--|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| <i>Anlagentechnische Daten</i> | | | | | |
| 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 |
| <i>Kostenkenngrößen</i> | | | | | |
| 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 |
| <i>Spezif. Stromgestehungskosten (real)</i> | | | | | |
| 100% TNP | €/kWh | 6,4 | 3,4 | -2,6 | -2,7 |
| 30% TNP-Kosubstrat | €/kWh | 14,6 | 10,8 | 5,4 | 4,9 |
| <i>Spezif. Stromgestehungskosten (nominal)</i> | | | | | |
| 100% TNP | €/kWh | 7,3 | 3,8 | -2,9 | -3,1 |
| 30% TNP-Kosubstrat | €/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 5-10 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.

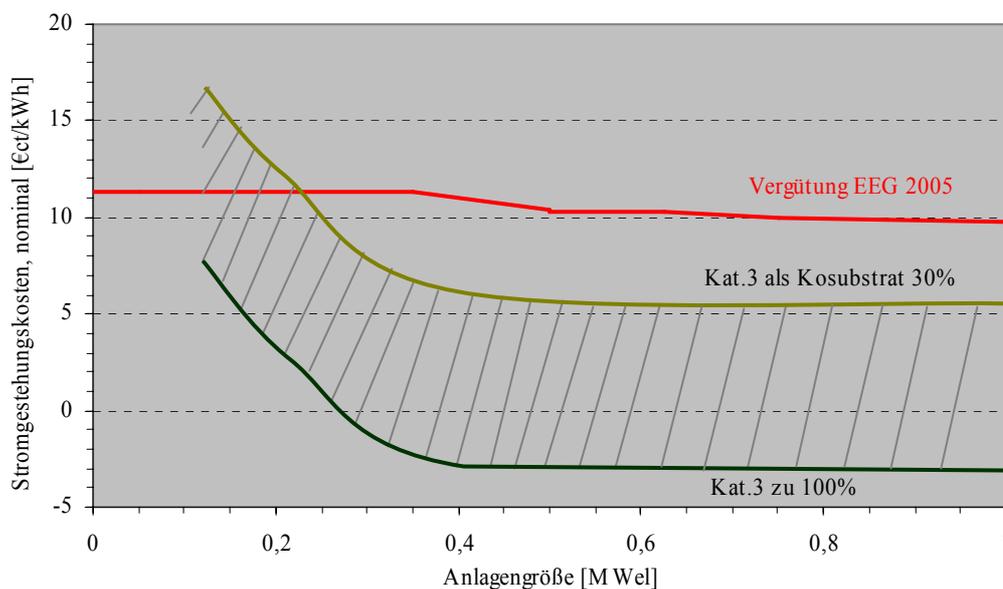


Abbildung 5-10: nominale Stromgestehungskosten für TNP in Biogasanlagen in Abhängigkeit von der Anlagengröße (Randbedingung: Erlös für TNP von 30 €/t_{FM})

Die **Sensitivitätsanalyse** zur Untersuchung des Einflusses wesentlicher Parameter ist beispielhaft für die Anlagengröße von 150 kW_{el} in Abbildung 5-11 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 €/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.

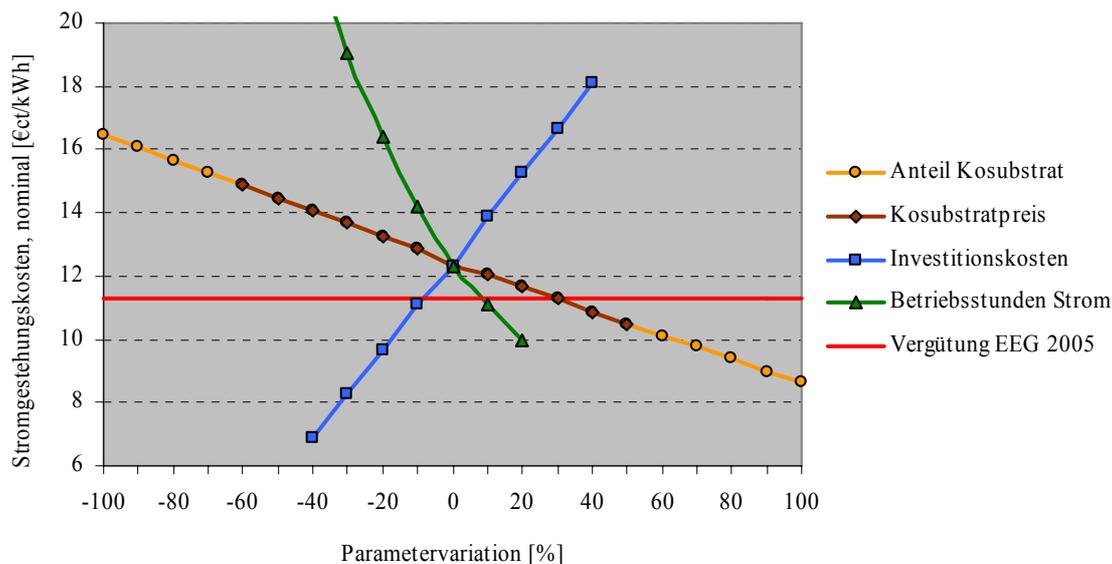


Abbildung 5-11: Sensitivitätsanalyse für 150 kW_{el}-Biogasanlage (Randbedingung: Erlös für TNP von 30 €/t_{FM} bei Kosubstratanteil von 30%)

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 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 /49/ 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_{el} 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 sog. 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 CO_2 , CH_4 und N_2O ³⁷) definiert. Das bei der Verbrennung von dem biogenen Energieträger TNP freiwerdende CO_2 wird bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen nicht berücksichtigt, da hier ein geschlossener Kohlenstoffkreislauf vorliegt und das freigesetzte CO_2 vorher der Atmosphäre entsprechend entzogen wurde.

³⁷ Für CH_4 und N_2O werden sog. CO_2 -Äquivalente ausgewiesen, d. h. CH_4 mit einem Äquivalentfaktor von 21 und N_2O mit einem Äquivalentfaktor von 310 /53/.

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 (N₂O) umgebaut und frei gesetzt. Dieser Anteil wird mit 2 % des im Gärrest enthaltenen Stickstoffs angenommen /53/.

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 5-5) 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 5-5). 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 5-5: *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 (zur Stromerzeugung)

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 entsprechender Vorkette produzierte 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 5-12 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 (z. B. Strommix) als Gutschrift dargestellt. Der schmale Mittelbalken zeigt jeweils die Summe der vermiedenen Aufwendungen an.

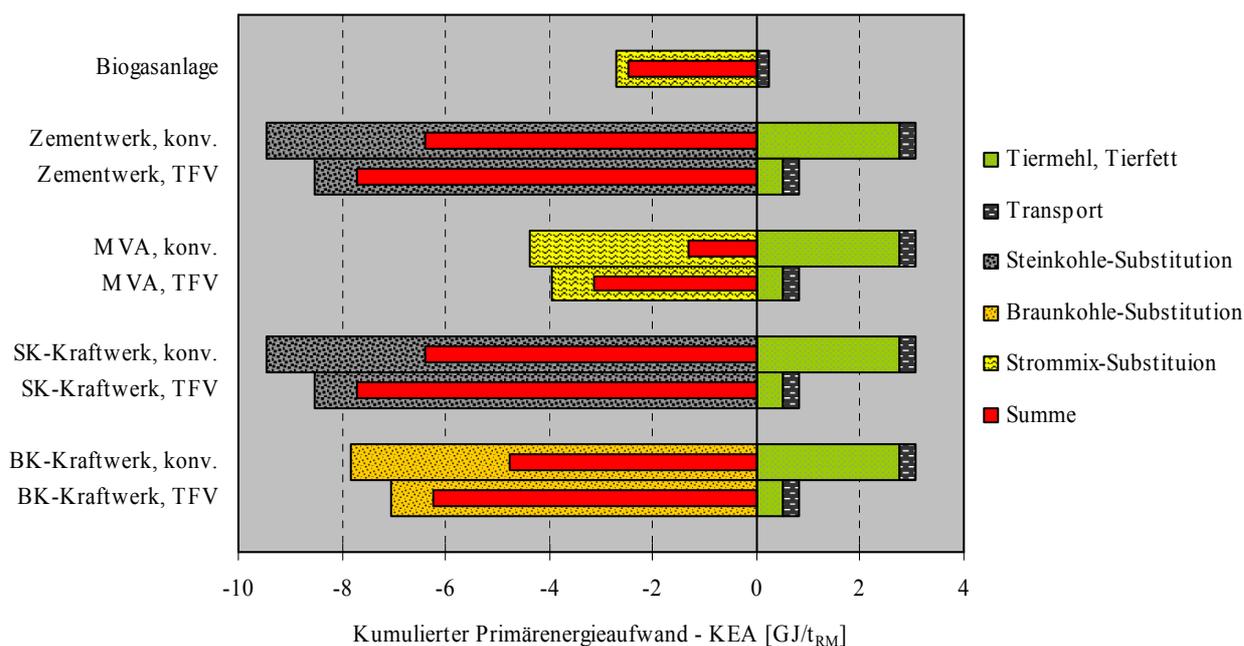


Abbildung 5-12: Verbrauch erschöpflicher Energieressourcen (KEA) je Tonne Rohmaterial

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), Strom aus dem deutschen 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 Strom aus dem deutschen 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.

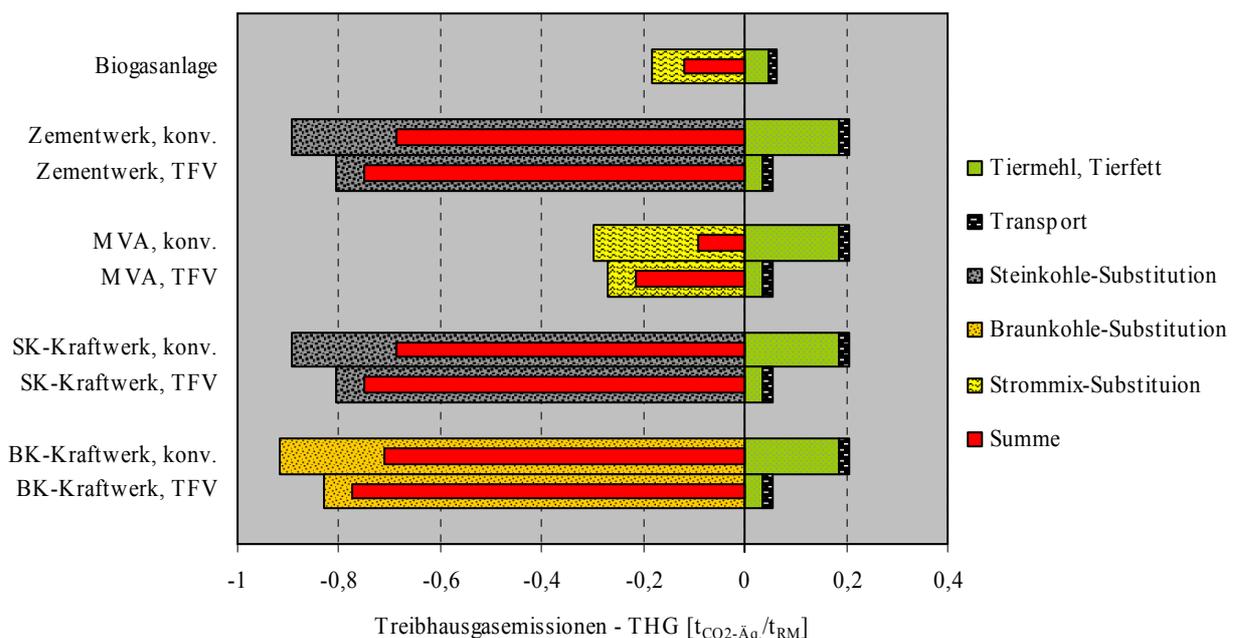


Abbildung 5-13: Treibhausgasemissionen je Tonne Rohmaterial

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 0,09 bis 0,2 t treibhausrelevanter Gase 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 5-5).
- * 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 vermeintliche 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 Investitionsicherheiten 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 ist unter gleicher Federführung in Lünen eine weitere Anlage gebaut worden, die mit einer Jahresgesamtkapazität von 100 kt/a (davon 50 % auf

Basis tierischer Fette) seit Oktober 2006 den Betrieb aufgenommen hat /22/. Verglichen mit dem Biodiesel auf Rapsölbasis³⁸ ist TME weitgehend 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 ökonomischer 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.

Insgesamt zeigt sich die 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 beschränkt³⁹. Demnach sind auch nur Biokraftstoffe, die auf der Basis von Kat. 3-Fetten hergestellt worden nach dem Energiesteuergesetz mineralölsteuerbegünstigt.

Zukünftiger Handlungsbedarf im Hinblick auf die energetische Verwertung ergibt sich – auch vor dem Hintergrund der Lebensmittelskandale 2005 und 2006 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.

³⁸ Biodieselskapazität in Deutschland 2006: ca. 3.200 kt/a

³⁹ mit Ausnahme ausgewählter tierischer Nebenprodukte der Kat.2 (d. h. Gülle, Magen- und Darminhalt und Kolostrum)

6 Einsatz von Bioabfällen zur Stromerzeugung

Um die Entwicklung der Stromerzeugung aus Bioabfällen zu dokumentieren und für die Zukunft abzuschätzen, werden auf der Grundlage einer Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes sowie der rechtlichen Rahmenbedingungen 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“ /98/ und der vorliegenden Erkenntnisse im Bereich ökobilanzieller Betrachtungen⁴⁰ /102/, 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 abzuschaffen⁴¹. 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. /164/),
- * 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.

⁴⁰ „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“ /99/

⁴¹ 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 die gemäß Anhang 1 Nr. 1 BioabfV genannten Stoffströme zu berücksichtigen.

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 /100/ f.. Danach sind z. B. Geflügelkot sowie Schweine- und Rindergülle nicht mehr enthalten. Bemerkenswert ist, dass die Abfallstoffe Aktivierden und Aktivkohle, die bei der Herstellung von Lebens- und Genussmittel einschließlich Getränken anfallen oder aus Abluftreinigungsanlagen von Kläranlagen oder biologischen Abfallbehandlungsanlagen stammen, 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 (Abfallverzeichnis-Verordnung: 20 01 08, 20 02 01, 20 03 01). 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/AbfAbIV 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 BiomasseV Unschärfen zu konstatieren. Unklar sind z. B. die Voraussetzungen für Stoffmischungen und hier insbesondere die Regelungen zu zulässigen Fremd-/ Störstoffanteilen in Biomassen⁴².

6.2.2 Vergütung der Stromerzeugung aus Bioabfällen

Bioabfälle werden unter Berücksichtigung der vorhandenen, 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

⁴² 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?

gemäß § 8 Abs. 2 Nr. 1 a) gerechnet⁴³. Diese zusätzliche Bonifizierung, die sich letztendlich aus der Argumentation „Landschaftspflegematerial“ ergibt, sollte unter Berücksichtigung der Zielsetzungen des EEG sowie folgender Diskussionspunkte - insbesondere im Zusammenhang mit der rein thermischen Nutzung ohne weitere stoffliche Wertschöpfung - kritisch hinterfragt werden:

- * Die Entsorgung von Grünut/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.
- * 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 /102/ 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 aus⁴⁴. Auch die Biomasseverordnung beinhaltet diesbezüglich eindeutige Regelungen, indem in § 3 Satz 1 Nr. 3 „gemischte Siedlungsabfälle

⁴³ 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.

⁴⁴ 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.“

aus privaten Haushaltungen sowie ähnliche Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen“ nicht als Biomasse im Sinne der Verordnung anerkannt werden. Die Begründung zur Biomasseverordnung vom 21.06.2001 schließt explizit „eine Einbeziehung der so genannten Hausmüllverbrennung aus“. Das EEG soll letztendlich der Zielrichtung des KrW-/AbfG nicht zuwiderlaufen⁴⁵.

Ähnlich wie die ITAD formieren sich derzeit auch die Betreiber von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen⁴⁶ im Hinblick auf die Anwendung des EEG bei der Verstromung von Biogas aus der Vergärung von MBA-Abfällen. In einem Rechtsgutachten /104/ wird festgestellt, dass bei einer entsprechenden Aufbereitung der Mischabfälle das gewonnene Biogas als Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung 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 Bioabfallverordnung 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. Es ist in diesem Zusammenhang festzuhalten, dass über die Aufbereitung einer biogenen Abfallfraktion in einer MBA nur ein im Sinne der Abfallablagereungsverordnung stabilisierter Stoffstrom zur anschließenden Deponierung erzeugt wird.⁴⁷

6.2.4 Abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen im Kontext der Bioabfallverwertung

Hinsichtlich der stoffstromrelevanten Rahmenbedingungen, die sich im Kontext der Zielsetzungen des KrW-/AbfG 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: die Eigenkompostierung von Bioabfällen wird im Allgemeinen als Vermeidungsmaßnahme bezeichnet. Ein Ausbau der Eigenkompostierung hat gegebenenfalls einen mengenmäßigen Rückgang der getrennt erfassten Bio- und Grünabfälle zur Folge.

⁴⁵ 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.

⁴⁶ ASA Arbeitsgemeinschaft stoffspezifische Abfallbehandlung e. V.

⁴⁷ Die gesetzlich – durch die Abfallablagereungsverordnung – induzierte Biogaserzeugung über eine MBA, entspricht dabei in ihrem Charakter eher einer technisch vorgelagerten Deponiegaserzeugung.

- * Verwertungspriorität gemäß § 4 Abs. 1 Nr. 2 KrW-/AbfG in Verbindung mit den Anforderungen zur Getrennthaltung gemäß § 5 Abs. 2 Satz 4 KrW-/AbfG sowie den generellen Rahmenbedingungen der Verwertungspriorität gemäß § 5 Abs. 4 und 5 KrW-/AbfG48; mögliche Auswirkungen: Forcierung der Getrenntsammlung, Stoffstromtrennung über mechanische Aufbereitungsanlagen.
- * Ergänzt werden die Rahmenbedingungen des KrW-/AbfG durch die Vorgaben der TA Siedlungsabfall /108/ 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 (Anforderungen an die getrennt Haltung). 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.

Bezüglich einzelner Fraktionen des ‚organischen Hausmülls‘ sind die Vorgaben der Bioabfallverordnung 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.

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 Verpflichtungen⁴⁹ 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 Bioabfallverordnung abgebildet.

6.2.5 Genehmigungsrechtliche und technische Aspekte der Bioabfallverwertung

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

⁴⁸ 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

⁴⁹ „Die Pflicht zur Verwertung ist einzuhalten, soweit ..., insbesondere für einen gewonnenen Stoff oder gewonnene Energie ein Markt vorhanden ist oder geschaffen werden kann.“

Hinsichtlich der Hygieneanforderungen sind die derzeit gültigen Rahmenbedingungen der Bioabfallverordnung speziell auf den Betrieb einer Kompostierungsanlage ausgelegt und damit für den 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 Bioabfallverordnung überarbeitet und als Entwurf im September 2004 übergeben /119/. Darin sind im Vergleich zu den derzeit gültigen Bestimmungen insbesondere differenziertere Vorgaben für die Nachweisführung bei unterschiedlichen Behandlungsverfahren (aerob, anaerob) enthalten. Die Hygienisierungsleistung thermophiler anaerober Prozesse wird darin unter Voraussetzung der dokumentierten Einhaltung der bei einer bestandenen Prozessprüfung⁵⁰ verwendeten Mindestverweilzeiten⁵¹ und Temperaturen anerkannt⁵².

Nach derzeitiger Einschätzung wird der Referentenentwurf zur Änderung der BioAbfV (Anhang 1 und 2) im Frühjahr 2007 erwartet⁵³.

Immissionsschutzrechtliche Anforderungen für Kompostierungs- und Vergärungsanlagen sind in der Technischen Anleitung Luft (TA Luft) /121/ 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.

Insbesondere bei Mieten-Kompostierungsanlagen mit Durchsätzen > 10.000 Mg/a kann sich daraus 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 /121/.

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 vorhandene Preisdifferenzen zu Billig-Kompostierungsanlagen⁵⁴ reduziert bzw. ausgeräumt werden. Die derzeit zu beobachtenden, teilweise länderübergreifenden Stoffstromverlagerungen würden dadurch gegebenenfalls unterbunden.

⁵⁰ 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.

⁵¹ Feststellung der Mindestverweilzeiten z. B. mit Traceruntersuchungen

⁵² Bei mesophilen Anlagen ist nach wie vor eine vor- oder nachgeschaltete Pasteurisierung erforderlich.

⁵³ Quelle: telefonische Auskunft BMU, KTBL (Stand: Januar 2007)

⁵⁴ 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.

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“ /123/. 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 der Tabellen 1.1 der Fachserie 19 des Statistischen Bundesamtes⁵⁵ (Mengen aus dem Inland) sowie die ausgewerteten Länderabfallbilanzen zugrunde gelegt.

Hinsichtlich der Auswertung der Länderabfallbilanzen /124/ 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.

Unter Berücksichtigung der obigen Zusammenhänge sind in der nachfolgenden Tabelle 6-1 die darstellbaren Mengenströme zusammen gefasst. Zum Zeitpunkt der Berichtslegung dieses Themenblockes lagen dabei sowohl auf der Ebene der Länderabfallbilanzen, als auch beim Statistischen Bundesamt Angaben bis zum Jahr 2003 vor⁵⁶.

⁵⁵ 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 /123/ gleich bleibend zu 64 % auf den Hausmüll, zu 26 % auf die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle und zu 10 % auf den Sperrmüll verteilt.

⁵⁶ Mittlerweile sind aktuellere Angaben verfügbar. Danach weist das Statistische Bundesamt für 2004 bei den Bioabfällen aus der Biotonne eine Menge von 3,66 Mio. Mg und bei den Garten- und Parkabfällen von 4,17 Mio. Mg aus. Das gemeinsame Datenangebot der Statistischen Ämter nennt auf der Basis der Länderabfallbilanzen für 2004 ein Gesamtaufkommen an organischen Abfällen von 8,41 Mio. Mg und für 2005 von 8,34 Mio. Mg. Damit wird die im Bereich unterstellte Konsolidierung der Erfassungsmengen bestätigt.

Tabelle 6-1: Abfallaufkommen nach Jahren und Datenquellen

| Jahr | 1990 | 1997 | 2001 | | 2002 | | 2003 | |
|-------------------------------|--------------------|--------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Quelle | [StBA] | [StBA] | [StBA] | [LAB ⁴] | [StBA] | [LAB ⁴] | [StBA] | [LAB ⁴] |
| [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 /124/

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 6-2.

Tabelle 6-2: 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 9 Neueinführungen (Flächendeckung 2002: 79 %) /126/.

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 /127/ zurückgegriffen, in welcher auf der

Basis von regionalen Abfallanalysen eine bundesweite Zusammensetzung heterogener Abfallarten modelliert wird.

Als theoretisches Potenzial hinsichtlich einer möglichen Biomasse – Nutzung 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 6-3).

Tabelle 6-3: Theoretische Potenziale an Bioabfällen in Deutschland (2003)

| Herkunft | Absolutes Potenzial [1.000 Mg/a] | Einwohnerspezifisches Potenzial [kg/E*a] |
|---|-------------------------------------|--|
| <i>Getrennte Erfassung</i> | | |
| Biotonne | 4.365,3 | 53 |
| Garten-/Parkabfälle, Grünschnitt ¹ | 3.549,7 | 43 |
| Gesamt | 7.915,0 | 96 |
| <i>Mischabfälle zur Beseitigung</i> | | |
| Bio- und Grünabfälle im Resthausmüll ² | 5.330,0 | 65 |
| Bio- und Grünabfälle im Sperrmüll | 59,0 | 1 |
| Bio- und Grünabfälle im hausmüllähnlichen Gewerbeabfall | 287,7 | 4 |
| Gesamt | 5.676,7 | ca. 70 |

¹ ohne direkt gemulchtes Material; /99/ 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 Mengenpotenziale 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 ⁵⁷, 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 Bioabfallpotenzial 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 /128/. Aufgrund der nach /129/ unter definierten Rahmenbeding-

⁵⁷ erreichbarer Wert nach /126/

ungen⁵⁸ hohen Umweltverträglichkeit dieses Verwertungsweges wird hier keine Stoffstromverlagerung im Sinne einer Potenzialbildung unterstellt.

Die Störstoffbelastungen können im Bereich der Bioabfallererfassung in Abhängigkeit der jeweiligen Einzugsbereiche stark schwanken. Nach den Befragungen von /126/ liegen die Anteile jedoch größtenteils unter 5 %. Lediglich 11 % der befragten Verwaltungseinheiten weisen Störstoffbelastungen > 5 % aus.

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 /131/. 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.-%.

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 ist⁵⁹. In der nachfolgenden Abbildung 6-1 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 6-3 für die Mengen des Jahres 2003 gegenüber gestellt⁶⁰.

⁵⁸ Fürsorglichkeit, „gute fachliche Praxis“, Qualität der Komposte

⁵⁹ 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).

⁶⁰ 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.

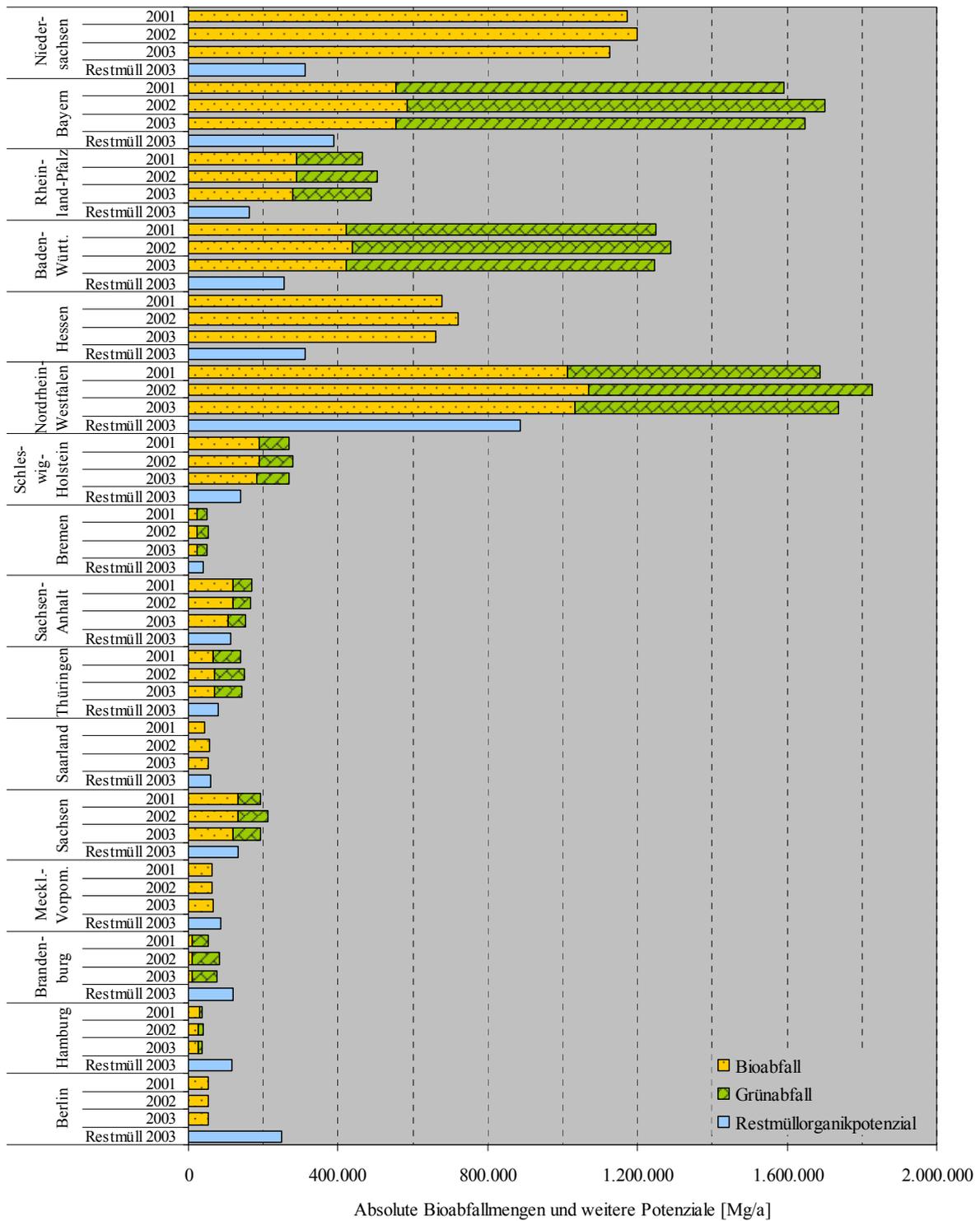


Abbildung 6-1: Absolute Bioabfallmengen für 2001 bis 2003 und Restmüllpotenzial für 2003 auf Länderebene

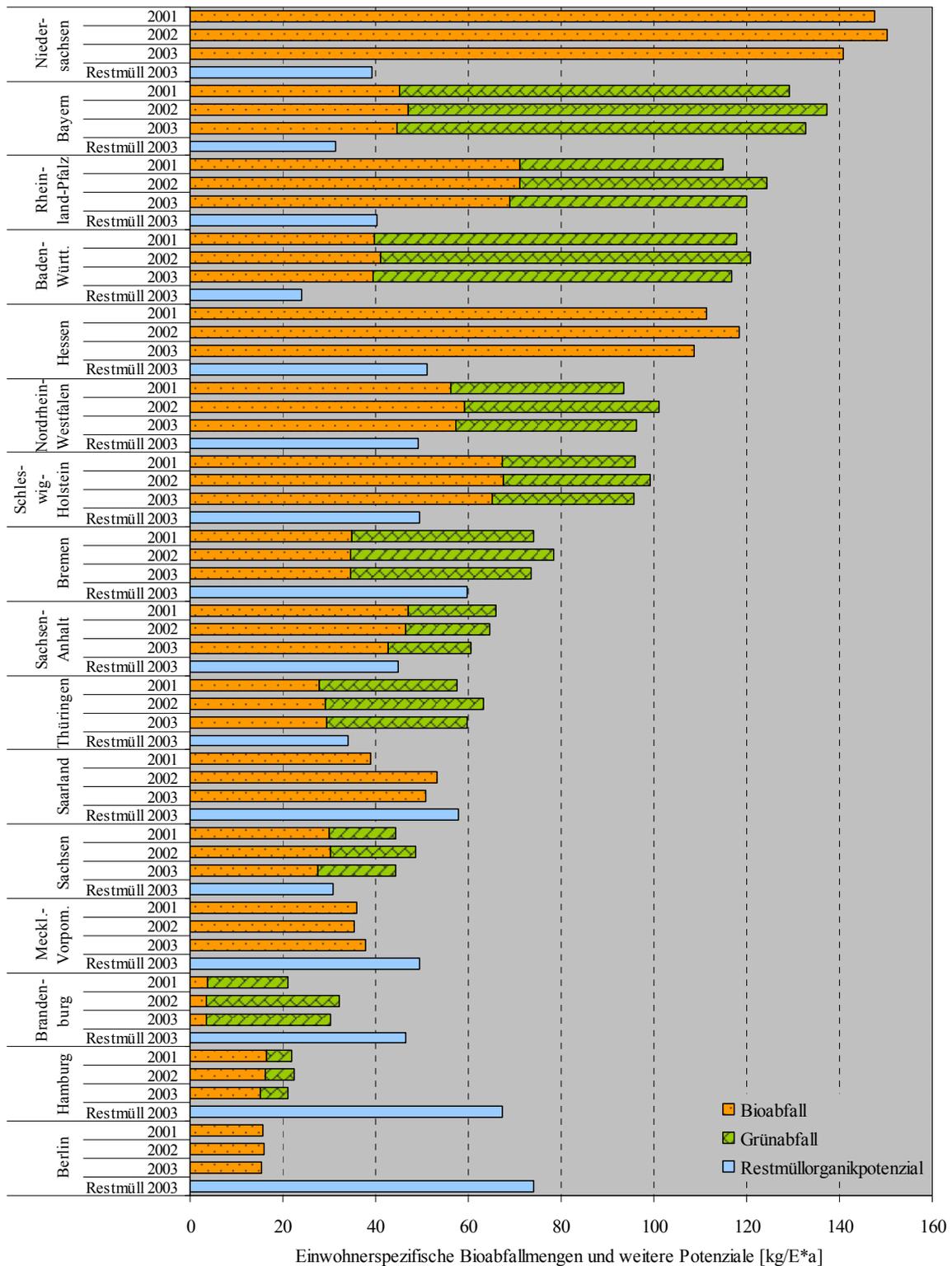


Abbildung 6-2: Einwohnerspezifische Bioabfallmengen für 2001 bis 2003 und Restmüllpotenzial für 2003 auf Länderebene

Das spezifische 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 6-2 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 6-4: 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*** |

* /132/; es werden nur Anlagen mit einem Durchsatz > 1.000 Mg berücksichtigt

** /133/

*** /134/

Im Vergleich zu den in der Statistik der Bundesgütegemeinschaft Kompost⁶¹ gelisteten, ca. 900 Anlagen, weist das StBA (2005; Tabelle 1.2) für 2003 1.205 biologische Behandlungsanlagen aus, in denen Siedlungsabfälle (EAV-Gruppe 20; ca. 7,6 Mio. Mg) eingesetzt werden⁶².

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 6-5 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 Statistischen Bundesamtes, differenziert nach Anlagentyp und Durchsatzkapazität für 2002 wie folgt darstellen (Tabelle 6-5).

⁶¹ 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.

⁶² 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.

Tabelle 6-5: Zuordnung von Mengenströmen zu Behandlungsanlagen in Deutschland für 2002 (StBA 2005)

| [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 Parkabfälle⁶³. Bei einer im Jahr 2002 zugewiesenen Gesamtmenge von ca. 0,42 Mio. Mg nahmen dabei die den Vergärungsanlagen zugeordneten Stoffströme, wie aus Tabelle 6-6 ersichtlich, im Vergleich zum Jahr 2000 zu (StBA; zu den vorangegangenen Jahren sind keine Angaben verfügbar).

Tabelle 6-6: 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. /135/ 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 Quellen⁶⁴ zu folgenden Aussagen: die aktuelle Liste (Stand: 26.08.2005) der BGK e. V. weist 96 Vergärungsanlagen mit einer hochgerechneten Gesamt-

⁶³ Es kann hier nicht eindeutig abgegrenzt werden, ob es sich hierbei um Mengenströme handelt, die bei der Nachkompostierung des Gärrückstandes als Strukturmaterial eingesetzt werden.

⁶⁴ ANS e. V., Internet, Telefonrecherche, Fragebogen

kapazität von 3,34 Mio. Mg/a aus⁶⁵. Von diesen Anlagen ist gemäß den durchgeführten Recherchen für 42 dokumentiert, dass sie kommunalen Bioabfall verarbeiten⁶⁶. Die hochgerechnete Gesamtkapazität dieser Anlagen⁶⁷ liegt bei 1,2 Mio. Mg/a. Hinsichtlich der Durchsatzkapazitäten der einzelnen Anlagen kann, differenziert nach Input und Vergärungsverfahren (nass, trocken) folgende Verteilung unterstellt werden (Abbildung 6-3; nur Anlagen mit bekannten Kapazitäten; n=83).

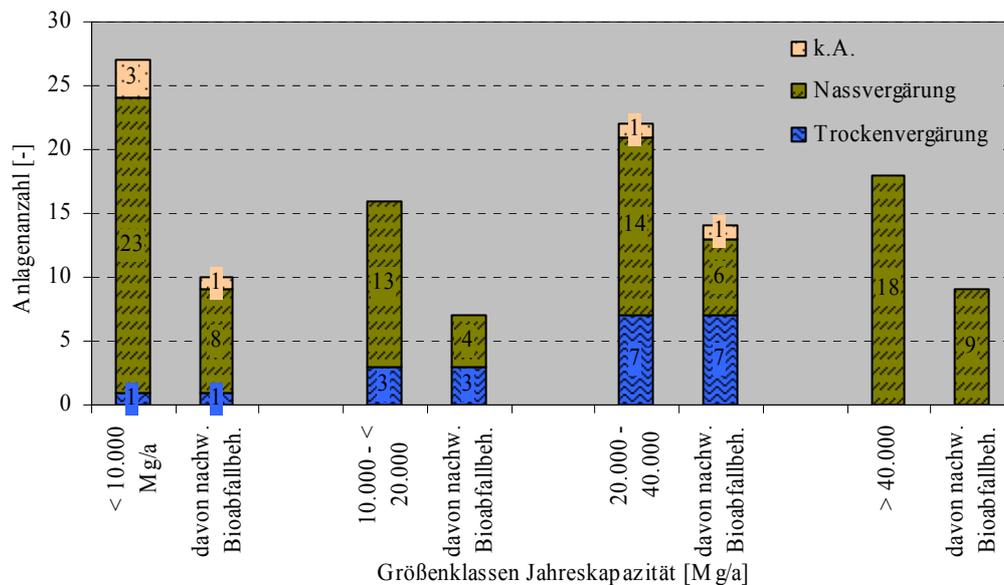


Abbildung 6-3: Häufigkeit der Vergärungsanlagen nach Durchsatzkapazität, Input und Verfahren (n=83/96)

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 (siehe Tabelle 6-3) 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 6-4 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.

⁶⁵ Im Internet (www.bgk-ev.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

⁶⁶ 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.: Fettsäureabscheiderinhalte, gewerbliche Speiseabfälle, Nawaro, Gülle, Kartoffelstärke, Pülpe, etc.

⁶⁷ Es konnten nur für zwei Anlagen keine Kapazitätsangaben ermittelt werden.

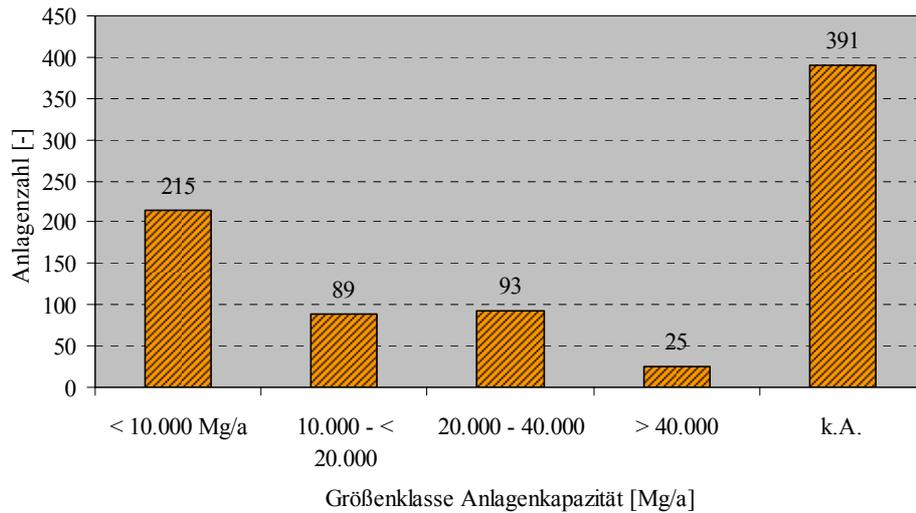


Abbildung 6-4: Häufigkeit der Kompostierungsanlagen nach Durchsatzkapazität (n=421/831)

Bezüglich der länderspezifischen Verteilung können hinsichtlich der hochgerechneten Anlagenkapazitäten (Kompostierung/Vergärung) sowie der jeweiligen Mengenaufkommen folgende Sachverhalte hergeleitet werden (Abbildung 6-5).

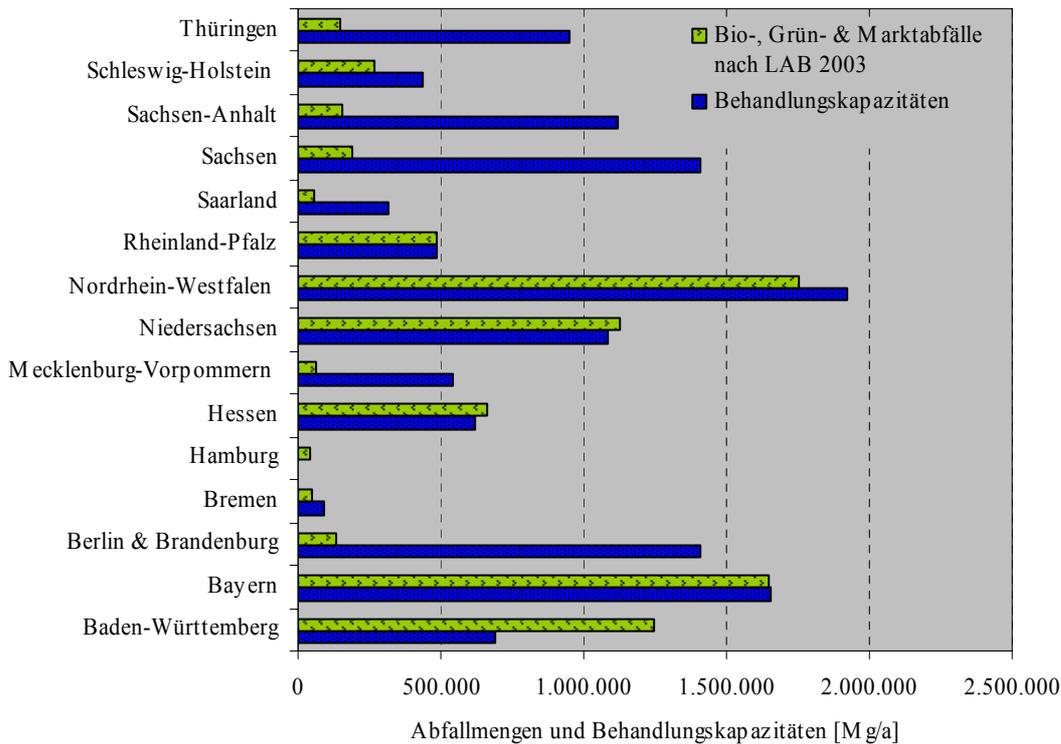


Abbildung 6-5: Durchsatzkapazitäten und Mengenaufkommen für Bio- und Grünabfall nach Bundesländern und Behandlungsverfahren (aerob/anaerob)

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

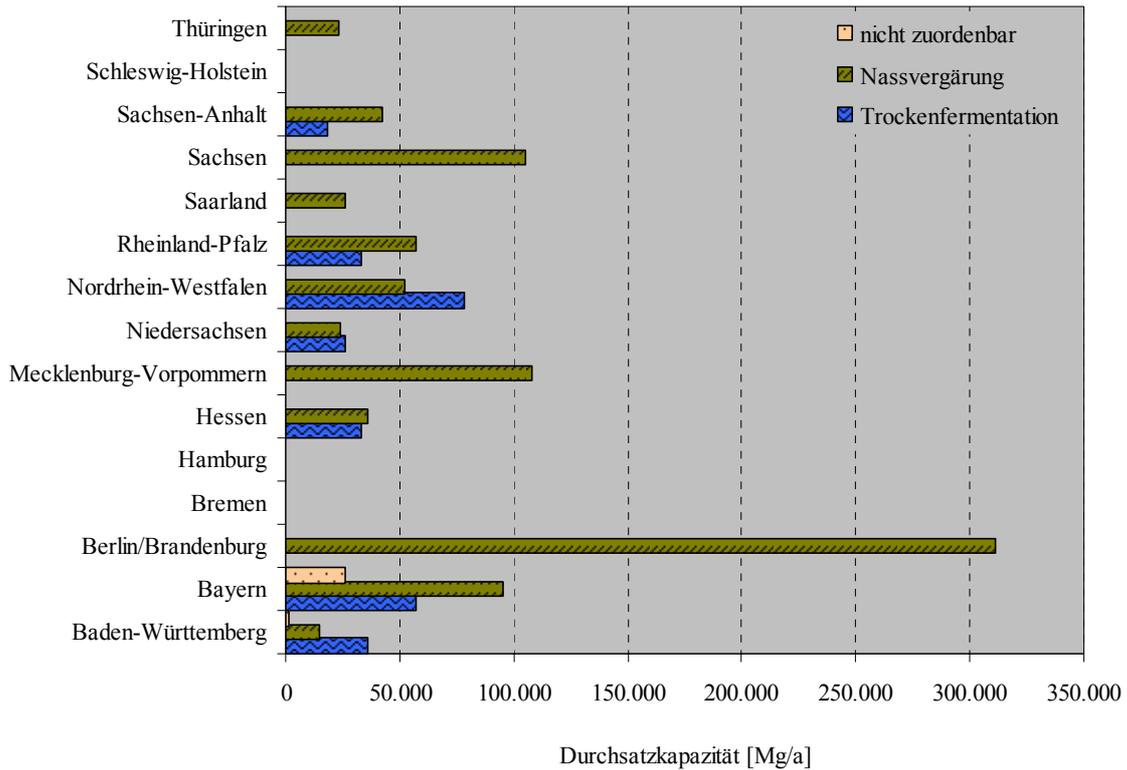
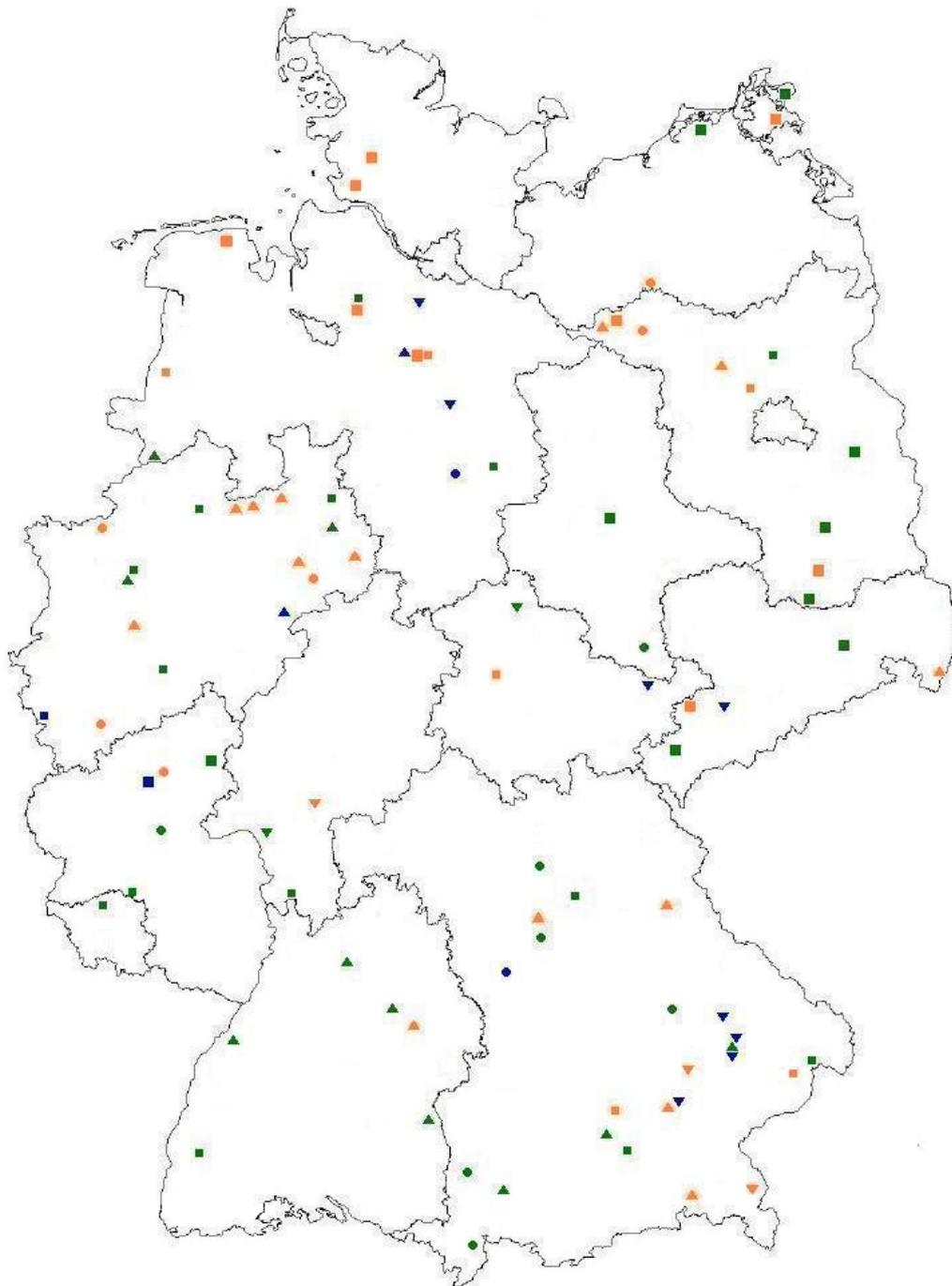


Abbildung 6-6: Anaerobe Behandlungskapazitäten für Bioabfall nach Bundesländer

Die geografische Verteilung der einzelnen Anlagenstandorte kann für den Bereich der Vergärungsanlagen der nachfolgenden Abbildung 6-7 entnommen werden.



| | <10.000 t | 10.000 - 19.999 t | 20.000 - 40.000 t | >40.000 t | keine Aussage |
|----------------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------|---------------|
| BioAbf.-Anlage | ▲ | ● | ■ | ■ | ▼ |
| nicht BioAbf.-Anlage | ▲ | ● | ■ | ■ | ▼ |
| keine Aussage | ▲ | ● | ■ | ■ | ▼ |

Abbildung 6-7: Geografische Verteilung der Vergärungsanlagen in Deutschland

6.3.4 Überregionale Verwertungswege

Gemäß Abbildung 6-5 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 6-8 weist in diesem Zusammenhang auf der Grundlage einer Kurzrecherche⁶⁸ länderspezifisch, die anteilige Verarbeitung von Stoffströmen aus anderen Einzugsbereichen aus.

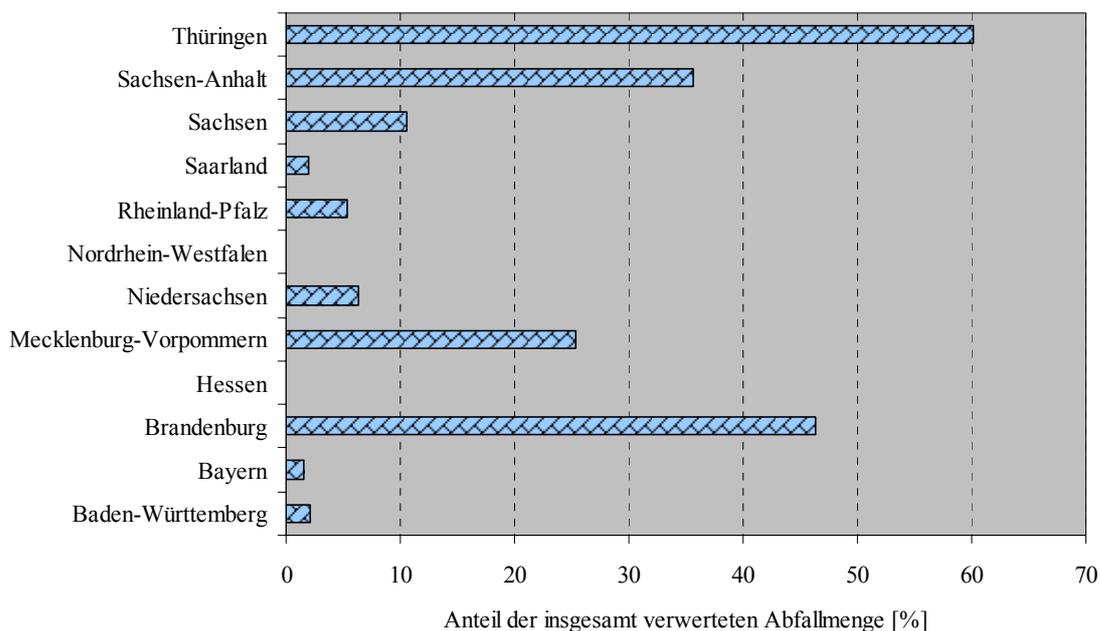


Abbildung 6-8: Anteiliges Aufkommen aus anderen Bundesländern an der insgesamt im jeweiligen Bundesland biologisch verwerteten Abfallmenge (2003)

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 /125/. Von diesem Mengenaufkommen wurden dabei ca. 2,7 Mio. Mg (d. h. ca. 60 %) als RAL-gütesicherter Kompost produziert und abgesetzt (BGK, 2005).

⁶⁸ Telefonische Abfrage bei den statistischen Landesämtern bzw. den Landesämtern für Umweltschutz im Oktober 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 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 6-9).

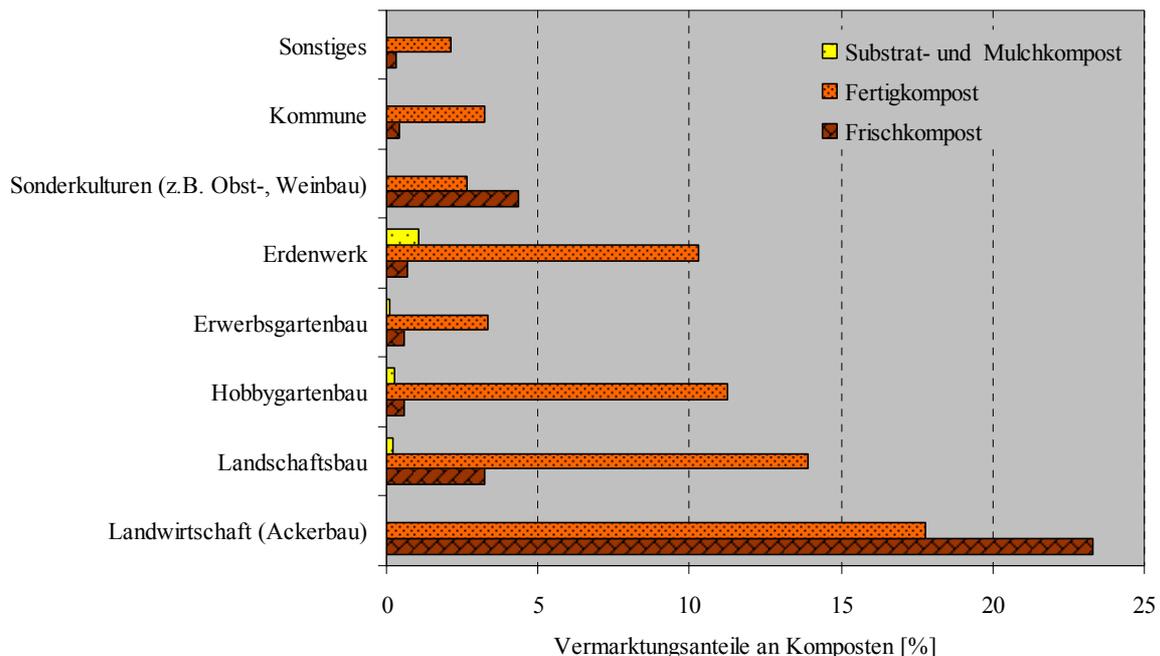


Abbildung 6-9: Vermarktungswege von RAL-gütesicherten Komposten in 2002 (BGK)

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“ /134/. 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)⁶⁹ 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 Verfahren⁷⁰. Lediglich eine Anlage arbeitet mit einem diskontinuierlichen Perkulationsverfahren⁷¹. 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 Perkulationsverfahren zur Vorbehandlung der Abfälle vor der Vergärung eingesetzt bzw. untersucht⁷².
- * **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 wurden⁷³ und im Bereich der Biogaserzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen erste Projekte zur Umsetzung gelangen, sind im Bereich der Biogasverwertung aus Bioabfällen in Deutschland bislang noch keine Projekte zur Gaseinspeisung in der Nähe einer Umsetzung.
- * **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 Projektansätze festzustellen⁷⁴.
- * **Brennstoffzelle:** im Rahmen eines Pilotprojektes wird in der Bioabfall-Vergärungsanlage Leonberg erstmals (seit 2006) eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle im Biogasbetrieb eingesetzt.

⁶⁹ 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.

⁷⁰ z. B. Systeme der Anbieter Kompogas, Linde-BRV, OWS-Dranco, Valorga, etc.

⁷¹ System Bekon

⁷² z. B. IMK-Verfahren (Integriertes Methanisierungskonzept), ISKA-Perkulationsverfahren

⁷³ z. B. Kläranlagen Stuttgart-Mühlhausen und Mönchengladbach-Neuwerk

⁷⁴ z. B. Saarbrücken

- * **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 /137/ dokumentierten Vorhaben werden dabei als Aufbereitungsschritte die Komponenten Störstoffseparation, Zerkleinerung / Homogenisierung, Separation mineralischer Anteil und Entwässerung/(biologische) Trocknung vorgesehen.
- * Einen etwas anderen Ansatz verfolgten /138/ 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.

6.3.7 Ergebnisse der Befragung von Anlagenbetreibern

Da hinsichtlich einer vertieften Betrachtung (z. B. Wirtschaftlichkeit, Anlagenutzung, 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 Anlagen⁷⁵ einen Rücklauf von 18 Fragebögen (= 27,3 %). Folgendes Bild lässt sich auf dieser Grundlage darstellen⁷⁶:

- * 5 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.

⁷⁵ Basis: Datenbank IE; Liste BGK e.V.; je eine Aktion im Mai und im Juni 2005

⁷⁶ Die Angaben beziehen sich auf die genannten Werte und Informationen; fehlende Informationen wurden nicht hochgerechnet.

- * Insgesamt werden in den Bioabfallbehandlungsanlagen folgende Substrate eingesetzt (Tabelle 6-7):

Tabelle 6-7: 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 6-8):

Tabelle 6-8: 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 (Gesamtanlage) | [%] | 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 6-9):

Tabelle 6-9: Gärrestnutzung

| Nutzungsform / zukünftige Einschätzung | Häufigkeit |
|--|--------------------|
| Thermische Verwertung | n = 1 ¹ |
| 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 |

¹ 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).

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 6-6) 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.
- * Gemäß Tabelle 6-10 kann der anaeroben Verarbeitung von Bioabfällen derzeit eine Stromproduktion von ca. 70.000 bis 110.000 MWh/a zugeordnet werden⁷⁷. Dies entspricht ca. 6 bis 9 % des technischen Gesamtpotenzials von ca. 1,3 Mio. MWh_{el}/a.

Tabelle 6-10: 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 ; η _{el} = 32 % | ca. 72.300 |
| 418.400 Mg/a komm. Bioabfall; Gasertrag 120 Nm ³ /Mg Bioabfall; Heizwert Biogas 6,0 kWh/Nm ³ ; η _{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 6-4 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:

⁷⁷ Die Bioabfall verarbeitenden Anlagen produzieren unter Berücksichtigung zusätzlicher Substrate ca. 180.000 MWh_{el} pro Jahr.

- * 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 –auslastung⁷⁸ (insbesondere in Relation zum Restabfall),
- * Vermarktungssituation für die gewonnene Produkte.

Eine aktuelle Untersuchung hat – unter Berücksichtigung der obigen Faktoren – das INFA-Institut durchgeführt⁷⁹ /139/. Hier wurde im Rahmen von zwei definierten Szenarien⁸⁰ die 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 6-11).

Tabelle 6-11: *Logistik- und Behandlungskosten der getrennten Rest- und Bioabfallererfassung gegenüber einer ausschließlichen Hausmüllerfassung in unterschiedlichen Entsorgungsgebieten (INFA, 2004; teilw. verändert)*

| | „ländliches Entsorgungsgebiet“ ¹ | | „städtisches Entsorgungsgebiet“ ² | |
|--------------------------------|---|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
| | Hausmüll nicht getrennt [€/Mg] | Biotonne und Restabfall [€/Mg] | Hausmüll nicht getrennt [€/Mg] | Biotonne und Restabfall [€/Mg] |
| Logistikaufwand | 43 | 46 | 66 | 72 |
| Behandlungskosten ³ | 125 | 101 | 125 | 115 |
| Gesamtkosten | 168 | 147 | 191 | 187 |

¹Mengenansätze: 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)

²Mengenansätze: 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 + Lader)

³Behandlungskosten: 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 höher⁸¹. Hinsichtlich der ökonomischen Rechtfertigung einer getrennten Verwertung von Bioabfällen, ist jedoch gemäß der obigen Herleitung insbesondere die

⁷⁸ z. B. Auswirkung der Bioabfall – Erfassung auf die Auslastung der Anlagen zur Restabfall – Beseitigung unter Berücksichtigung der potenziell hohen Fixkostenanteile

⁷⁹ 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.

⁸⁰ hier: Festlegung von Siedlungsstrukturen, Mengenaufkommen, Leerungsintervalle, Logistiksystem, etc.

⁸¹ abhängig von der optimalen Umsetzung der logistischen Voraussetzungen und den erzielten Abschöpfquoten (Bioabfallmenge im Verhältnis zur Rest- und Bioabfallmenge)

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-Institutes⁸² /140/. Darin werden im Rahmen einer Befragung u. a. folgende Rest- und Bioabfallentsorgungskosten festgestellt (Tabelle 6-12).

Tabelle 6-12: Spezifische Entsorgungskosten für Restmüll und Bioabfall im kreisfreien Städten /140/

| | Spezifische Entsorgungskosten in [€/Mg] in kreisfreien Städten Angaben in % der befragten Städte ¹ | | | | | |
|------------------------|---|------------|-------------|---------------------------|-------------|-------|
| | < 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 ² | 21 % | 37 % | 26 % | 16 % (Abfrage > 150 €/Mg) | | |
| Kompostierung | 26 % | 33 % | 26 % | 15 % | | |
| Vergärung | 6 % | 50 % | 25 % | 19 % | | |

¹ 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/AbfallAbIV, wie bereits jetzt ersichtlich, Verschiebungen im Sinne von Kostenerhöhungen einstellen (Zeitpunkt der Befragung: 2003)⁸³. 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

⁸² Befragung bei den 113 kreisfreien Städten in Deutschland sowie den Stadtstaaten Berlin, Hamburg, Bremen / Bremerhaven; Rücklauf 66 % = ca. 25 % der Gesamtbevölkerung in Deutschland

⁸³ Aktuell liegen die Referenzpreise für die Jahre 2005/2006 bei der MVA zwischen 70 und 340 €/Mg und bei der MBA zwischen 70 und 230 €/Mg /141/

ausgeführt, in den neuen Ländern dagegen nur 23 % /136/. Entsprechend haben gemäß den der Tabelle 6-12 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. /142/ 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. Hinsichtlich der dabei zu unterstellenden Verwertungskosten (ohne Erfassungskosten) ist gemäß einer Untersuchung für Hessen /143/ bei Ansatz leistungsfähiger Rottesysteme von einer Spanne von ca. 40 bis 65 €/Mg auszugehen. Die häufig zu beobachtende kommunale Praxis einer einfachen „Grünschnittdeponierung“ dürfte jedoch zu deutlich niedrigeren Kosten führen.

6.4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

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 6-3 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 6-10).

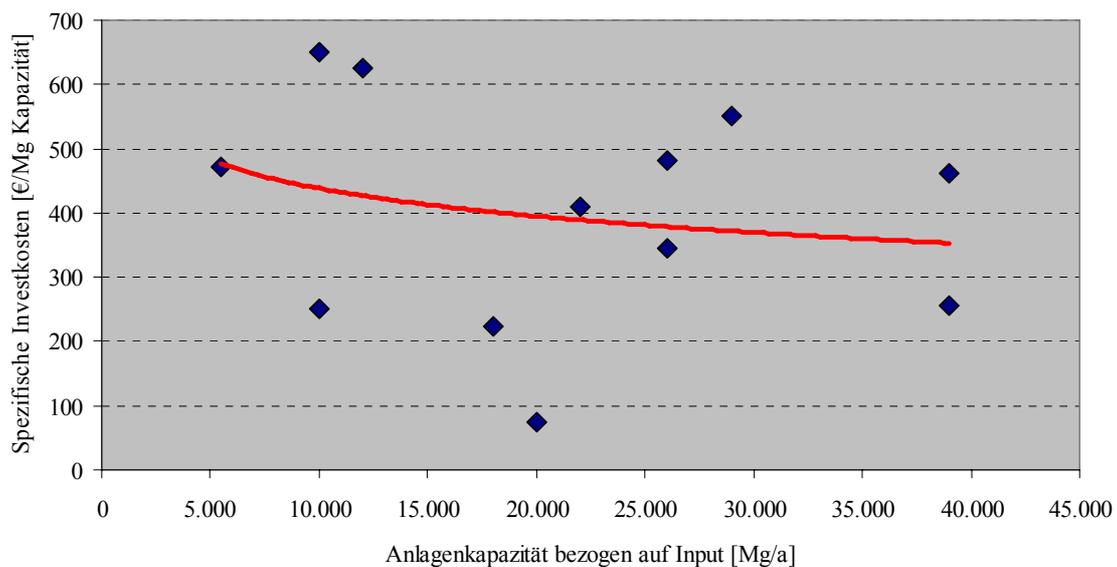


Abbildung 6-10: Spezifische Investitionen bei Bioabfall-Vergärungsanlagen in Abhängigkeit vom Durchsatz (Vergleich spez. Invest Vergärungsanlagen; Datenbasis: FB & BGK Anlagen; bereinigt)

Auf der Grundlage der obigen Trendlinie lassen sich danach die Kostenansätze sowie die nachfolgend angesetzten Abschreibungszeiträume wie folgt darstellen (Tabelle 6-13).

Tabelle 6-13: Investitionen nach unterschiedlichen Leistungsklassen (bezogen auf Input)

| Anlagengröße (Input) | 10.000 Mg/a | 20.000 Mg/a | 40.000 Mg/a | Abschreibung |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------|
| Anlagengröße BHKW ¹ | 390 kW _{el} | 780 kW _{el} | 1.560 kW _{el} | 7 a |
| spez. Investition | 440 €/Mg | 395 €/Mg | 350 €/Mg | |
| spez. Investition | 11.280 €/kW _{el} | 10.130 €/kW _{el} | 8.950 €/kW _{el} | |
| Investition gesamt | 4.400.000 € | 7.900.000 € | 14.000.000 € | |
| davon BHKW ² | 310.050 € | 491.400 € | 780.000 € | 7 a |
| Investition ohne BHKW | 4.089.950 € | 7.408.600 € | 13.220.000 € | |
| davon AT 62 % | 2.535.769 € | 4.593.332 € | 8.196.400 € | 10 a |
| davon BT 38 % | 1.554.181 € | 2.815.268 € | 5.023.600 € | 20 a |

¹ mittlere installierte el. Leistung gemäß Fragebogen: 0,039 kW_{el}/ Mg

² Basis: je 2 BHKW: spez. Invest von 795, 630 und 500 €/kW_{el} gemäß ASUE – BHKW – Kenndaten – Biogas (2005); Abk.: AT = Anlagenteil/technische Ausrüstung, BT = Bauteil

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.

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 m³/Mg FS (6,0 kWh/m³) 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 kWh/Mg), jedoch noch im ermittelten Schwankungsbereich. Werden die ermittelten mittleren Vollastjahresstunden (ca. 6.600 h/a) sowie die mittlere spezifische Anschlussleistung (0,039 kW_{el}/Mg) zugrunde gelegt, kann von einer spezifischen Stromproduktion von ca. 257 kWh_{el}/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_{th} verkauft wird.
- * Der Personalaufwand wird auf der Grundlage der durchgeführten Recherchen wie folgt festgelegt (Tabelle 6-14).

Tabelle 6-14: 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 /139/ gewählten Ansatz⁸⁴. 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.

Auf der Grundlage der obigen Festlegungen lassen sich nunmehr folgende Aussagen zur Wirtschaftlichkeit darstellen (Tabelle 6-15).

⁸⁴ 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.

Tabelle 6-15: 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 | |
| <i>Kosten</i> | | | | | |
| 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 |
| Siebreentsorgung | [€/a] | 30.000 | 60.000 | 120.000 | 10 % vom Input; 30 €/Mg |
| Summe | [€/a] | 1.264.572 | 2.187.562 | 3.865.333 | |
| <i>Erlöse</i> | | | | | |
| 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 |
| <i>Stromgestehungskosten</i> | | | | | |
| 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 | [€/ct/kWh] | 28,7 | 20,8 | 15,0 | |
| Stromgestehungskosten, real <u>mit</u> Wärmenutzung | [€/ct/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 Gärrückstände sowie im spezifischen Personalbedarf ihren Ursprung hat.

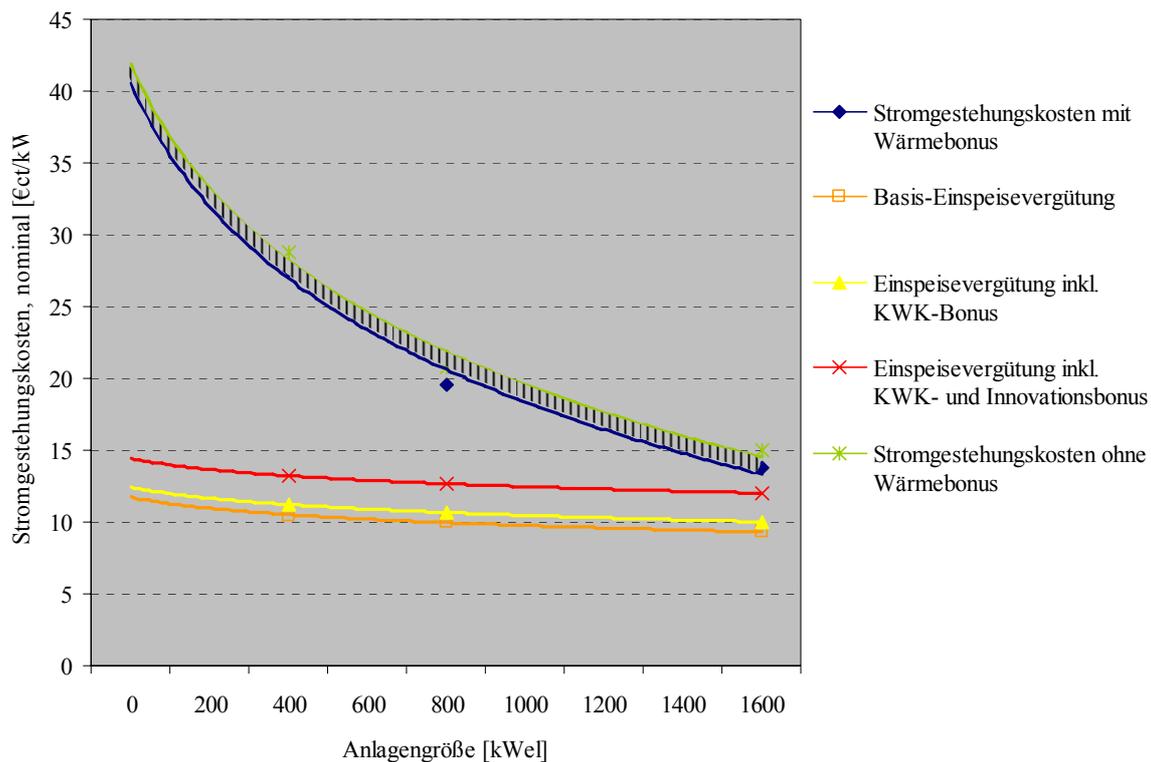


Abbildung 6-11: Reale Stromgestehungskosten und Vergütungen in Abhängigkeit von der Anlagengröße (Vergütungsbasis: 2006, Bioabfallerlös: 60 €/Mg)

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 /139/ 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 6-4 einen interessanten Bereich ab.

Der 0-Wert der 20.000 Mg-Anlage repräsentiert die Anlagenkonfiguration gemäß Tabelle 6-15 inkl. Wärmenutzung.

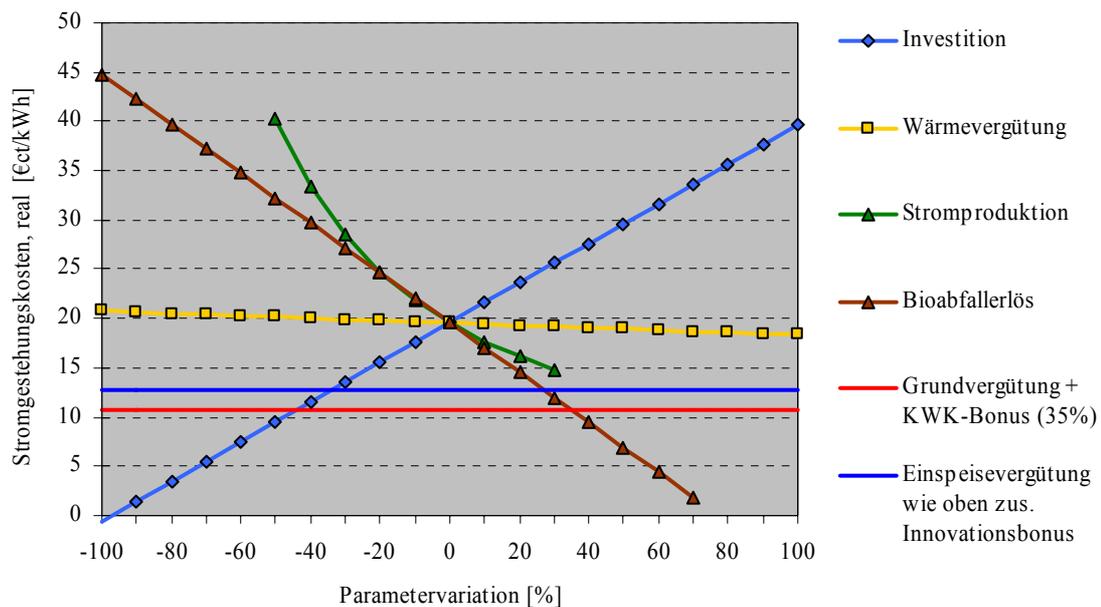


Abbildung 6-12: Sensitivitätsanalyse für 780 kW_{el}-Biogasanlage (Basis: inkl. Wärmenutzung; Bioabfallerlös: 60 €/Mg)

Einen großen Einfluss üben gemäß Abbildung 6-12 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 weitergehender 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 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.

Stoffstromverlagerungen aufgrund der Rahmenbedingungen im Bereich der Restabfallbeseitigung

Gemäß den Vorgaben der Abfallablagerungsverordnung und der TA Siedlungsabfall 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 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 /144/. 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 Abfallablagerungsverordnung 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 Preis⁸⁵ 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).

⁸⁵ Ausnahme: gegebenenfalls erforderliche Nachrüstung bei Billiganlagen z. B. auf der Grundlage der TA Luft

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.

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.

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 /146/. 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)⁸⁶.

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

⁸⁶ 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

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 /147/. 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 der Regel nicht aus. 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. /148/ bewertet im Rahmen seiner Untersuchungen zu den Einsatzmöglichkeiten kompostierter Gärrückstände den Einsatz kompostierter Gärreste aus Bioabfall als organischer NPK-Dünger auf Ackerböden grundsätzlich positiv.

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 /149/:

- * Stickstoff (N) 39.520 Mg entsprechend 2,2 % des Bedarfes
- * Phosphat (P_2O_5) 21.580 Mg entsprechend 7,7 % des Bedarfes⁸⁷
- * Kalium (K_2O) 32.760 Mg entsprechend 6,7 % des Bedarfes
- * Kalk (CaO) 124.540 Mg entsprechend 5,9 % des Bedarfes

Auf der Grundlage der in der Bioabfallverordnung genannten Aufwandmengen (20 – 30 Mg TM in drei Jahren⁸⁸) 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 6-9) liegen die tatsächlich versorgten Ackerflächen deutlich niedriger⁸⁹.

Neben der Nährstoffzufuhr ist die Bodenversorgung mit organischer Substanz ein weiteres wichtiges Element der landwirtschaftlichen Kompostverwertung. Landwirte müssen dabei

⁸⁷ von besonderer Relevanz, angesichts der endlichen Verfügbarkeit dieser Ressource

⁸⁸ wird gemäß „guter fachlicher Praxis“ verfahren, ist mit Aufwandmengenempfehlungen von ca. 8 Mg TM je ha und Jahr zu rechnen

⁸⁹ 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.

unter bestimmten Voraussetzungen jährliche Humusbilanzen erstellen und bei Unterschreitung definierter Grenzwerte Maßnahmen zur Verbesserung der Humusbilanz ergreifen. 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 negativ⁹⁰ /150/f.. Die Landwirtschaft erzeugt dabei selbst große Mengen an Wirtschaftsdüngern und Stroh. Diese landwirtschaftliche Eigenversorgung kann jährlich eine Humusproduktion von etwa 5.900.000 t Humus-C gewährleisten. Die in Komposten aus der getrennten Sammlung enthaltenen 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. Letztendlich können mit den für den Ackerbau üblichen Aufwandsmengenempfehlungen für Kompost (gemäß der Düngedararfsrechnung) 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 ausreichend⁹¹ /153/f.. Aufgrund dieses Sachverhaltes wird im Allgemeinen von einer steigenden Nachfrage nach dem Substrat ausgegangen.

Neben den positiven Auswirkungen im Bereich der Nährstoffversorgung und der Humusbilanz haben insbesondere Komposte aus Pflanzenabfällen⁹² eine hohe Substitutionswirkung gegenüber Torf und können somit dem drohenden Verlust wertvoller Torflandschaften⁹³ entgegen steuern /155/.

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 /156/ff.. Mit Ausnahme von Kupfer haben sich die Belastungen in allen anderen Bereichen verringert und bleiben größtenteils unterhalb der durch die Bioabfallverordnung gesetzten Anforderungen. Nach Einschätzung von Fachkreisen ist damit das durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen steuerbare Vermeidungspotenzial zur Schwermetallminimierung weitgehend ausgeschöpft /159/.

Insgesamt steht somit mit den Bioabfallkomposten ein wertvolles Bodensubstrat zur Verfügung, welches sich aufgrund der geschilderten Rahmenbedingungen zum Nachfrageartikel

⁹⁰ so weisen z. B. bereits rund 20 % aller in einer vieharmen Untersuchungsregion (Rheinland) untersuchten Lehm Böden bereits kritische Humusgehalte unter 1,7 % auf, in /151/; ca. 9 % der Ackerfläche in Deutschland werden mit Hackfrüchten, Hülsenfrüchten sowie Gemüse, Erdbeeren und anderen Gartengewächsen kultiviert; in /152/.

⁹¹ Kern spricht diesbezüglich in /155/ von einer zu vernachlässigenden Größenordnung

⁹² insbesondere Grünschnitt; Biotonnen-Material nur eingeschränkt

⁹³ 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

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 Qualität⁹⁴ kaum für eine Aufbereitung zum Brennstoff eignet, entwickeln sich bezüglich der holzartigen Anteile aus dem Grünschnitt in verstärktem Umfang Konzepte im Sinne einer Verbrennung bzw. thermischen Nutzung der entsprechenden Stoffströme. Kern schlägt z. B. in /160/ 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.

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 /162/ 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 in der Regel 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 im Abfallregime behandelte Stoffströme mit einem solchen Bonus zu versehen sollte hier im Zusammenhang mit einer rein thermischen Nutzung der Holzanteile – auch angesichts der jüngsten (Preis-)Entwicklungen auf dem Holzmarkt – kritisch hinterfragt werden (siehe Abschnitt 6.2.2.). Die Notwendigkeit des NawaRo-Bonus bei

⁹⁴ insbesondere Wassergehalte, Aschegehalte, Anteile an Fremdstoffen

der Vergärung der verbleibenden Reste (Gras, Laub, Zweige, etc.) erscheint dagegen im Hinblick auf wirtschaftlich tragfähige Konzepte gegeben.

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 /163/.

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. Nach bisheriger Einschätzung ist bei diesen Ansätzen der NawaRo-Bonus hinsichtlich der Erzielung einer wirtschaftlichen Tragfähigkeit unabdingbar.

6.6 Zusammenfassung

Gegenstand der hier durchgeführten Untersuchungen waren Bioabfälle aus der Biotonne sowie Grünschnitt bzw. Garten- und Parkabfälle aus kommunalen Anlagen. 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.

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. Die Bioabfallbehandlung ist dabei derzeit i. d. R. kostengünstiger. Dies wird sich, bedingt durch die Umsetzung der AbfAbIV/TASi zukünftig zugunsten der Bioabfallbehandlung fortsetzen.

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 bis 27,5 €/kWh_{el} ermittelt werden. Es bleibt somit festzuhalten, dass die aktuellen Vergütungssätze des EEG als alleiniges Argument für eine verstärkte Umrüstung von Kompostierungs- auf Vergärungsanlagen noch nicht ausreichend sind.

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

- * 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 einer Mitbehandlung von Bioabfällen als Co-Substrat in landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen ist festzustellen, dass diese Anlagen verstärkt auf reinen NawaRo-Betrieb umstellen.
- * Auch im Bereich des bislang ausschließlich aerob verwerteten Grünschnitts gibt es erste Planungen zur Realisierung von Biogasanlagen. Die Wirtschaftlichkeit entsprechender Ansätze ist dabei nach derzeitiger Einschätzung ohne NawaRo-Bonus nicht gegeben.
- * 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.

Ungeachtet dessen konnte festgestellt werden, dass das EEG einen Einfluss auf die Kompostwirtschaft ausübt. Im Hinblick auf zukünftige Abwägungen ergeben sich aus Sicht der Abfall- und Kompostwirtschaft dabei u. a. folgende Anforderungen:

- * Es besteht der Wunsch nach einer erhöhten Planungssicherheit durch eine eindeutiger Definition des Bioabfallbegriffes im Sinne der BiomasseV. Unklar sind dabei z. B.

Regelungen bei Stoffmischungen, insbesondere im Zusammenhang mit Stör-/ Fremdstoffanteilen (Beispiel: Siebrest).

- * Zudem sollten im Zusammenhang mit dem NawaRo-Bonus nur solche Stoffe gefördert werden, für die Produktions-/Gestehungskosten anfallen und nicht solche, für die bereits ein Entsorgungsmarkt besteht. Insbesondere die Ausweitung der thermischen Nutzung von Grünschnitt kann hier – anders als bei der anaeroben Verwertung – ein Schritt in die falsche Richtung sein, wenn dadurch die Umsetzung stofflicher Verwertungsschienen beeinträchtigt wird.
- * Bezogen auf die Anwendbarkeit der BiomasseV besteht hinsichtlich einer wünschenswerten Konkretisierung der Definition des Bioabfallbegriffes gegebenenfalls die Möglichkeit im Rahmen der derzeit anstehenden Überarbeitung des Anhang 1 der BioabfallV im Sinne einer ‚offiziellen‘ Beurteilungsgrundlage zusätzliche Informationen der BiomasseV/EEG nach Abfallschlüsselnummern aufzunehmen (z. B. Anerkennung als Biomasse, Vergütungssätze, erweiterte Qualitätskriterien).

7 Zweifelsfragen und Streitfälle der Biomasseverordnung

Die Erfahrungen mit der BiomasseV und dem EEG respektive dem novellierten EEG zeigen, dass die Inhalte in Grenzfällen zu Streitigkeiten führen können; Zweifelsfälle sind daher nur in Verknüpfung beider Regelwerke zu betrachten. Das gilt einerseits für Produktionsrückstände, Nebenprodukte und Abfälle (z. B. Rückstände aus der Biodieselproduktion, tierische Nebenprodukte), die meist mit Entsorgungsgebühren verbunden sind. Andererseits steht ein Großteil der offenen Fragen im Zusammenhang mit dem Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) sowie die Definition von naturbelassener Biomasse, Nachweisregelungen und Kontrollinstanzen für KWK-Strom und der innovativen Technologien (z. B. Abgrenzung der Trockenfermentation).

Ziel dieses Arbeitsschwerpunktes ist es, Zweifelsfälle und Streitfragen, die insbesondere in Zusammenhang mit der BiomasseV stehen, möglichst vollständig zu erfassen und zu kategorisieren, um etwaige Regelungsdefizite aufzeigen und nach Möglichkeit entsprechende Lösungsansätze anbieten zu können.

Die Erhebung der Zweifelsfälle und Streitfragen erfolgte in erster Linie basierend auf verschiedenen Anfragen aus der Praxis, Beiträge bei Fachgesprächen⁹⁵ sowie von Partnern des Institutes für Energetik und Umwelt. Dabei wird die BiomasseV in der Gesamtbewertung als überwiegend positiv eingeschätzt und Fehlstellen und Handlungsbedarf (z. B. hinsichtlich der stofflichen Abgrenzung verschiedener Biomassefraktionen sowie hinsichtlich innovativer Technologien) eher in Richtung des novellierten EEG attestiert. Darüber hinaus spielt die BiomasseV insbesondere im Zusammenhang der Anerkennung von Biokraftstoffen im Rahmen der Regelungen des Energiesteuergesetzes (§ 50 Abs. 3 EnergieStG, „Steuerentlastung für Biokraft- und Bioheizstoffe“) eine entscheidende Rolle, insbesondere, wenn es um den Einsatz von Reststoffen und Nebenprodukten (z. B. Kat. 3; vgl. Kapitel 5) zur Biokraftstoffproduktion geht.

Nachfolgend werden die Zweifelsfälle und Streitfragen nach (i) Fragen der BiomasseV (d. h. maßgeblich zu Einsatzstoffen und deren Qualität; Tabelle 7-1) sowie im direkten Zusammenhang dazu nach (ii) Fragen zum § 8 Abs. 2 EEG (d. h. maßgeblich zum NawaRo-Bonus; Tabelle 7-2) kategorisiert.

⁹⁵ z. B. das im Rahmen dieses Monitoringprojektes durchgeführte Fachgespräch zum Thema „Energetische Verwertung biogener Reststoffe und Nebenprodukte im Spannungsfeld der abfallkreislaufwirtschaftlichen Veränderungen und der Biomasseverordnung“ am 11./12. Oktober 2005 im Umweltbundesamt in Dessau

Tabelle 7-1: Zweifelsfragen und Streitfälle zur BiomasseV (§ 8 Abs. 7 EEG)

| | Zweifelsfrage / Streitfall | Quelle/Herkunft | Bemerkung |
|---|---|--|--|
| 1 | Zählen Siebüberläufe aus Kompostieranlagen zu Biomasse im Sinne der BiomasseV? | Anfrage/ Interesse (Praxisfall) | Siebüberläufe nur dann Biomasse, wenn die kompostierte Biomasse im Sinne der BiomasseV |
| 2 | Kommt auch der Einsatz von Reststoffen aus den genannten Herkunftsbereichen in Betracht? (z. B. Rapspresskuchen, Schlempe aus landwirtsch. Brennereien bzw. der Ethanolherstellung, Glycerin aus der Biodieselherstellung, Apfeltrester, Getreideausputz, minderwertiges Getreide, aussortierte Kartoffeln, Kräuterstängel, naturbelassene Sägenebenprodukte) | verschiedene Anfragen (Praxisfall, Fachtagung) | relevante Reststoffe sind (auch im Hinblick auf den NawaRo-Bonus) nicht erfasst (RA Maslaton), Definition des NawaRo-Bonus zweifelhaft, überprüfungsbedürftig |
| 3 | Warum werden genußtaugliche Nebenprodukte (z. B. Kat. 3 ^a) als Biomasse im Sinne BiomasseV gehandelt, während Strom bzw. Kraftstoffe (Biodiesel) aus Kat. 1/2-Material unvergütet bleibt? | Praxisfall | Nach Anpassung der BiomasseV an die veränderten Regelungen wie EU-HygieneV (EG) Nr. 1774/2002) und TierNebG sind (wie auch zuvor schon) nur Kat.3 als Biomasse anerkannt. |
| 4 | Muss Biogasgülle tierischen Ursprungs hygienisiert werden? | Praxisfall (seinerzeit Referentenentwurf, Bedenkenträger Veterinärmediziner) | Gülle tierischen Ursprungs muss nicht hygienisiert werden. Untersuchungen nach Oechser (Uni Hohenheim) belegen, dass im Vergärungsprozess (auch im mesophilen Bereich) etwa 90 % bis 95 % der relevanten Erreger abtötet werden. |
| 5 | Die Abgrenzung von Holz zu anderen Biomassen scheint unklar und wird von Betreibern und Energieversorgungsunternehmen unterschiedlich ausgelegt. | Anfrage | überprüfungsbedürftig |
| 6 | Was ist unter „im Rahmen der „Landschaftspflege“ angefallenen Stoffen zu verstehen? | Anfrage (Fachtagung) | Bezug Naturschutz |

^a vgl. Kapitel 5.2

Tabelle 7-2: Zweifelsfragen und Streitfälle zur § 8 Abs. 2 EEG

| | Zweifelsfrage / Streitfall | Quelle/Herkunft | Bemerkung |
|---|--|---|---|
| 1 | Ist der Zukauf von NawaRo-Material bonusfähig? | Anfrage (Fachtagung) | Grundsatzfrage |
| 2 | Kommt der Einsatz von aus dem Ausland stammenden Material in Betracht und ist selbiger NawaRo-Bonusfähig? – z. B. raffiniertes Pflanzenöl (Palmöl-Vollraffinat) | Anfrage (Fachtagung) | überprüfungsbedürftig |
| 3 | Lässt sich im Hinblick auf den NawaRo-Bonus eine Positivliste bilden, die sich allein auf Stoffe bezieht? Welche Relevanz kommt insoweit der Positivliste des Fachverbandes Biogas zu? | Eigene | Grundsatzfrage |
| 4 | Treffen alle Einstufungen der Liste des Fachverbandes Biogas zu? | Eigene | überprüfungsbedürftig |
| 5 | Ist auch Pferdemist NawaRo-bonusfähig? | Diskussion | Folgefrage zu EG-Hygiene-VO Differenzierender Begründungsansatz (Pferdezüchtung / Pferdehaltung), Nutztierdefinition |
| 6 | Welche Nachweisanforderungen darf der Netzbetreiber im Hinblick auf die Boniregelungen stellen? Muss z. B. nachgewiesen werden, dass Rapsöl aus Biomasse stammt? Kann ein monatliches Einsatzprotokoll verlangt werden? | Anfragen (Fachtagung, Praxisfall) | Grundsatzfrage |
| 7 | Ist der NawaRo-Bonus für Brennstoffe aus Gärresten nachwachsender Rohstoffe in möglich? Oder handelt es sich um eine Doppelförderung? | Praxisanregung | Grundsatzfrage, Verweis auf Definition des NawaRo-Bonus |
| 8 | Gibt es die Möglichkeit der anteiligen Gewährung des NawaRo-Bonus auch bei Mischfeuerungen, in denen andere Biomassen eingesetzt werden, bzw. bei saisonalem ausschließlichem Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen? | Anfragen | Grundsatzfrage, Ausschließlichkeitsgebot |

Diese und weitere Zweifelsfragen des EEG werden ebenso intensiv im Rahmen des Projektes „Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) insbesondere gemeinsam mit Prof. Dr. Jur. Stefan Klinski diskutiert und hinsichtlich viel versprechender Lösungsansätze geprüft.

Ergänzend zu den o. g. Zweifelsfragen ist mit besonderem Bezug auf den Einsatz von biogenen Reststoffen und Nebenprodukten deutlich geworden, dass neben der Berücksichtigung der Nährstoffkreisläufe (v. a. die Anwendung von Kompost aus biogenen Abfällen und Nebenprodukten) ebenso die Wertschöpfungskette in Bezug auf die Biomassenutzung eine Rolle spielt und die Entwicklung der Stoffströme weiterhin einer kritischen Beobachtung unterzogen werden muss.

Darüber hinaus konnten innerhalb des o. g. Fachgespräches folgende wesentliche Punkte und Anregungen hinsichtlich des novellierten EEG identifiziert werden. Dies beinhaltet:

- * die Schaffung von einfachen und nachvollziehbaren Regelungen (z. B. ohne Überschneidungen mit anderen Regelwerken),
- * die Schaffung geeigneter Qualitätsmanagementsysteme für die Biomassenutzung (u. a. im Hinblick auf die relevanten Eigenschaften biogener Rohstoffe, wie deren Homogenität),
- * die Erarbeitung eines Rahmenregelwerkes zur Klärung wiederholter Zweifelsfälle (z. B. in Form einer Biogasverordnung, einer Festschreibung von maximalen Fremdstoffanteilen in biogenen Brennstoffen von z. B. 15 % oder Zahlungsverantwortlichkeiten bei Netzanschlüssen),
- * die fortschreibende Untersuchung der stofflichen und energetischen Verwertungswege für die verschiedenen biogenen Stoffströme (u. a. auch in Bezug auf den Humuseinsatz, die Zufuhr von Mineralstoffen und die Rolle als Torfersatz) und Schlussfolgerungen auf die unter diesen Aspekten zielführend energetisch nutzbaren Potenziale,
- * die Identifizierung klar definierter Lenkungswirkungen und Anreize im Bereich der Abfallwirtschaft durch dortige Akteure (u. a. tatsächlicher Beitrag zur Stromerzeugung auf der Basis von Biomasse) unter Ausschluss von Mitnahmeeffekten,
- * die einheitliche Förderung biogener Abfälle (z. B. Bioabfall und Grünschnitt), insbesondere wenn für diese bereits gemeinsame, hochwertige Verwertungswege etabliert sind (z. B. Kompostierung); bei einer Differenzierung muss die Gleichwertigkeit von stofflicher (z. B. als Bodendünger innerhalb des Nährstoffkreislaufes, Humus- und Torfersatz, partieller Verbleib von holzartigen Grünabfällen in der Kompostierung) und energetischer Nutzung sachgerecht nachgewiesen sein (z. B. durch CO₂-Bilanzen),

- * die Öffnung der BiomasseV für bestimmte biogene Abfallstoffe (z. B. mit einem geringen Schadstoffpotenzial) einerseits, andererseits jedoch deren Einschränkung (z. B. hinsichtlich der stofflichen Relevanz von Grünabfällen)
- * die Einführung verbindlicher Stofflisten für die EEG-Mindestvergütung bzw. den additiven NawaRo-Bonus und biogene Reststoffe ohne die Anregung zur Vermengung dieser Stoffströme,
- * die Kennzeichnungspflicht von NawaRo- und Abfallanlagen z. B. auch gegenüber den Brennstofflieferanten,
- * die verursachergerechte Belastung und damit ggf. Entlastung der Stromkunden (d. h. keine Förderung von Ersatzbrennstoffen durch die Umlage auf den Stromverbraucher),
- * die Entlastung der Netzbetreiber in der Rolle als Richter über Boni und anerkannte Biomassebrennstoffe und die Forderung nach behördlicher Vollzugskontrolle,
- * die Schaffung europaweit einheitliche Rahmenbedingungen – insbesondere für den Umgang mit Bioabfällen – sowie die Identifizierung gemeinsamer Schnittstellen und Querverbindungen der unterschiedlichen Stoffströme von biogenen Reststoffen und NawaRo in der Europäischen Union und Kommunikation gegenüber der Europäischen Kommission in Brüssel über deutsche Rahmenbedingungen hinaus.

Trotz dieser Fehlstellen wird das EEG weitgehend einhellig als gute Grundlage zum Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien eingeordnet. In Hinblick auf die gegenwärtige Situation wird die Sendung von eindeutigen Signalen im Hinblick auf dessen Fortbestand als notwendig erachtet, um einen Ausbau der F&E-Aktivitäten anzuregen (z. B. in punkto Gaseinspeisung, Kraft-Wärme-Kopplung, innovative Technologien). Gleichzeitig könnten ergänzende Maßnahmen für den Wärmebereich die künftige Biomassenutzung weiter abrunden. Ebenso wird die BiomasseV in der Gesamtbewertung als überwiegend positiv eingeschätzt und Fehlstellen und Handlungsbedarf (z. B. hinsichtlich der stofflichen Abgrenzung verschiedener Biomassefraktionen in Bezug auf den NawaRo-Bonus) eher im Bezug auf das EEG gesehen.

8 Umweltanforderungen der Biomasseverordnung

Das folgende Kapitel gibt eine Übersicht zu den heutigen Umwelteffekten durch die Nutzung von Biomasse zur Stromerzeugung (Kapitel 8.1). Weiterhin werden kurz die Fragen des Einsatzes von Zündstrahlmotoren für Biogas (Kapitel 8.2) und die potenziellen Effekte der Biogasbereitstellung auf die Humusbilanz diskutiert (Kapitel 8.3). Abschließend werden relevante Punkte für die Weiterentwicklung der BiomasseV aus Umweltsicht zusammengefasst (Kapitel 8.4).

8.1 Umweltaspekte der Energiebereitstellungsketten

Der folgende Abschnitt gibt eine summarische Darstellung der Umwelteffekte durch Anbau bzw. Sammlung und nachfolgende Konversion von biogenen Roh- sowie Reststoffen bezogen auf die Emissionen an Treibhausgasen und Luftschadstoffen. Dabei werden jeweils zuerst die *direkten* Emissionen aus den Stromerzeugungsanlagen (vgl. Tabelle 8-1, Tabelle 8-3, Tabelle 8-5 und Tabelle 8-7) und dann die *Gesamtbilanzen* (inkl. Vorketten) unter Einrechnung von Gutschriftenvarianten für Kraft-Wärme-Kopplung (vgl. Tabelle 8-2, Tabelle 8-4, Tabelle 8-6 und Tabelle 8-8) dargestellt.

Die BiomasseV gibt derzeit im Hinblick auf die Einsatzstoffe (Roh- bzw. Reststoffe) *keine* Begrenzung von Emissionen oder sonstige Umweltanforderungen, sondern macht nur Vorgaben zur Konversionseffizienz von Biomasse zu Endenergien (Mindestnutzungsgrade für Strom bzw. Kraft-Wärme/Kälte-Kopplung).

Sowohl die direkten Emissionen der Stromerzeugung aus Biomasse wie auch die Gesamtemissionen (inkl. Vorketten zur Bereitstellung der Inputs) wurden auf Basis der Prozessdaten aus GEMIS-Programm Version 4.4 entnommen /186/, dessen Datenbasis im Rahmen eines BMU-Forschungsvorhabens zur nachhaltigen Bioenergienutzung speziell auf Bioenergiesysteme hin ergänzt wurde /176/ und in dem auch aktuelle Daten des Umweltbundesamtes zu den direkten Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen bei der Strom- und Wärmeerzeugung einbezogen wurden /187/. Die energetischen Daten der Bioenergiesysteme stammen komplett aus /176/, die Vorkettendaten aus /186/.

Ein Nachvollziehen dieser Daten ist auch über die ProBas-Website des Umweltbundesamtes /188/ möglich, da diese den kompletten Datenbestand aus der BMU-Studie „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ /176/ enthält und ohne Installation des Computerprogramms GEMIS direkt im Internet zugänglich ist.

8.1.1 Stromerzeugung aus festen Bioenergieträgern

Als feste biogene Energieträger werden Altholz (Mischung Klassen A I bis A IV), Waldrest- bzw. Schwachholz (als Hackschnitzel), Sägespäne (als Pellets) sowie Reststroh betrachtet.

Eine Übersicht zu den *direkten* – also nur von den Stromerzeugungssystemen *unmittelbar* ausgehenden – Emissionen pro kWh_{el} bereitgestelltem Strom zeigt Tabelle 8-1. Hier ist zu

beachten, dass diese Emissionen *ohne* Berücksichtigung von Gutschriften für die Bereitstellung von nutzbarer Abwärme bei KWK-Systemen bestimmt wurden, also die „brutto“-Emissionen darstellen.

Tabelle 8-1: Direkte THG- und Luftschadstoffemissionen der Stromerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen⁹⁶ ohne Gutschrift für KWK-Wärme (Brutto-Bilanz) /186/

| Option [g/kWh _{el}] | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NO _x | Staub |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|
| Altholz-A1-4-KW-DT | 0,0 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,67 | 0,03 |
| Wald-HS-Mitverbr-Kohle-KW-DT | 0,0 | 0,02 | 0,05 | 0,03 | 0,21 | 0,05 |
| Wald-HS-Mitverbr-Kohle-HKW-WSF | 0,0 | 0,01 | 0,69 | 0,03 | 0,98 | 0,05 |
| Wald-HS-HKW-DM | 0,0 | 0,08 | 0,02 | 0,98 | 1,63 | 0,27 |
| Wald-HS-HKW-ORC | 0,0 | 0,09 | 0,02 | 1,07 | 1,78 | 0,29 |
| Pellet-HKW-Stirling | 0,0 | 0,07 | 0,03 | 0,67 | 1,68 | 0,36 |
| Holzvergaser-BHKW | 0,0 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 1,10 | 0,03 |
| Stroh-Mitverbr-Kohle-KW-DT | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,08 | 0,35 | 0,02 |
| Stroh-Mitverbr-Kohle-HKW-WSF | 0,0 | 0,01 | 0,68 | 0,09 | 0,96 | 0,09 |
| Stroh-HKW-DM-SNCR | 0,0 | 0,09 | 0,02 | 1,13 | 3,49 | 0,29 |
| Stroh-HKW-ORC-SNCR | 0,0 | 0,10 | 0,02 | 1,24 | 3,84 | 0,32 |

KW = Kraftwerk; DT = Dampfturbine; HKW = Heizkraftwerk; WSF = Wirbelschichtfeuerung;
 HS = Hackschnitzel; DM = Dampfmotor; ORC = Organic Rankine Cycle;
 BHKW = Block-Heizkraftwerk mit Gasmotor

Deutlich sichtbar sind die relativ hohen Luftschadstoffemissionen der DM- und ORC-Systeme sowie des Stirling-HKW im Vergleich zu den (deutlich größeren) DT-Anlagen. Demgegenüber zeigen *Mitverbrennungssysteme* (hier nur zum Vergleich aufgeführt, da nicht per EEG vergütet) durch die effektive Abgasreinigung der Kohle-Systeme und die höheren elektrischen Nutzungsgrade der (größeren) DT-Anlagen sehr geringe strombezogene direkte Luftschadstoffemissionen.

Da einerseits durch Sammlung, Aufbereitung und Transport sowie Anlagenherstellung und Hilfsenergiebedarfe weitere Emissionen entstehen (sog. Vorketten) und andererseits die (anteilige) Wärmenutzung bei der KWK-Stromerzeugung auch Emissionen substituiert (Gutschrift), zeigt Tabelle 8-2 die *Gesamtemissionen* der biogenen Stromerzeugung aus Festbrennstoffen. Dabei wurden für KWK-Systeme die folgenden Fälle unterschieden, um den Einfluss der Wärmegutschrift sichtbar zu machen:

- * „brutto“, d. h. *ohne* Gutschrift für KWK-Wärme,
- * „Gas50%“ bzw. „Öl50%“, d. h. Anrechnung von 50 % der möglichen Wärmenutzung, Ersatz von Gas- bzw. Ölheizungen sowie
- * „Gas“ bzw. „Öl“, d. h. Anrechnung von 100 % der möglichen Wärmenutzung, Ersatz von Gas- bzw. Ölheizungen.

⁹⁶ Daten nur für unmittelbare Schadstoffabgaben an den Stromerzeugungssystemen, d. h. ohne vorgelagerte Emissionen und ohne Gutschriften für nutzbare Wärme (Bruttobilanz).

Tabelle 8-2: Gesamte Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen der Stromerzeugung (Nettobilanz) /186/

| Option [g/kWhel] | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NOx | Staub |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|------|-------|
| Altholz-A1-4-KW-DT | 13,7 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,76 | 0,03 |
| Wald-HS-Mitverbr-Kohle-KW-DT | 26,4 | 0,07 | 0,05 | 0,07 | 0,36 | 0,02 |
| Wald-HS-Mitverbr-Kohle-HKW/brutto | 36,9 | 0,08 | 0,69 | 0,09 | 1,18 | 0,07 |
| Wald-HS-Mitverbr-Kohle-HKW/Gas50% | -256,7 | -1,30 | 0,69 | 0,07 | 0,96 | 0,06 |
| Wald-HS-Mitverbr-Kohle-HKW/Gas | -550,4 | -2,67 | 0,68 | 0,05 | 0,73 | 0,05 |
| Wald-HS-Mitverbr-Kohle-HKW/Öl50% | -374,7 | -0,05 | 0,69 | -0,49 | 0,92 | 0,04 |
| Wald-HS-Mitverbr-Kohle-HKW/Öl | -786,3 | -0,18 | 0,68 | -1,06 | 0,66 | 0,01 |
| Wald-HS-HKW-DM/brutto | 69,3 | 0,23 | 0,02 | 1,08 | 2,01 | 0,31 |
| Wald-HS-HKW-DM/Gas50% | -692,6 | -3,34 | 0,01 | 1,03 | 1,42 | 0,29 |
| Wald-HS-HKW-DM/Gas | -1429,7 | -6,79 | 0,00 | 0,99 | 0,84 | 0,27 |
| Wald-HS-HKW-DM/Öl50% | -998,7 | -0,10 | 0,01 | -0,41 | 1,33 | 0,24 |
| Wald-HS-HKW-DM/Öl | -2031,9 | -0,42 | -0,01 | -1,86 | 0,67 | 0,16 |
| Wald-HS-HKW-ORC/brutto | 72,7 | 0,25 | 0,02 | 1,17 | 2,19 | 0,34 |
| Wald-HS-HKW-ORC/Gas50% | -768,5 | -3,69 | 0,01 | 1,13 | 1,54 | 0,32 |
| Wald-HS-HKW-ORC/Gas | -1610,6 | -7,64 | 0,00 | 1,08 | 0,88 | 0,29 |
| Wald-HS-HKW-ORC/Öl50% | -1106,5 | -0,12 | 0,01 | -0,47 | 1,44 | 0,26 |
| Wald-HS-HKW-ORC/Öl | -2286,9 | -0,49 | -0,01 | -2,12 | 0,68 | 0,17 |
| Pellet-HKW-Stirling/brutto | 74,1 | 0,27 | 0,04 | 1,10 | 2,90 | 0,57 |
| Pellet-HKW-Stirling/Gas50% | -687,7 | -3,30 | 0,04 | 1,06 | 2,31 | 0,55 |
| Pellet-HKW-Stirling/Gas | -1424,9 | -6,75 | 0,03 | 1,01 | 1,73 | 0,53 |
| Pellet-HKW-Stirling/Öl50% | -993,8 | -0,06 | 0,03 | -0,39 | 2,22 | 0,49 |
| Pellet-HKW-Stirling/Öl | -2027,1 | -0,38 | 0,02 | -1,84 | 1,56 | 0,42 |
| Stroh-Mitverbr-Kohle-KW-DT | 21,2 | 0,04 | 0,02 | 0,11 | 0,52 | 0,03 |
| Stroh-Mitverbr-Kohle-HKW/brutto | 28,6 | 0,02 | 0,68 | 0,12 | 1,19 | 0,10 |
| Stroh-Mitverbr-Kohle-HKW/Gas50% | -265,0 | -1,35 | 0,67 | 0,11 | 0,96 | 0,10 |
| Stroh-Mitverbr-Kohle-HKW/Gas | -558,6 | -2,73 | 0,67 | 0,09 | 0,74 | 0,09 |
| Stroh-Mitverbr-Kohle-HKW/Öl50% | -382,9 | -0,11 | 0,67 | -0,45 | 0,93 | 0,08 |
| Stroh-Mitverbr-Kohle-HKW/Öl | -794,5 | -0,23 | 0,67 | -1,03 | 0,67 | 0,05 |
| Stroh-HKW-DM/brutto | 79,3 | 0,18 | 0,02 | 1,19 | 3,99 | 0,33 |
| Stroh-HKW-DM/Gas50% | -750,2 | -3,71 | 0,01 | 1,15 | 3,34 | 0,30 |
| Stroh-HKW-DM/Gas | -1580,0 | -7,60 | 0,00 | 1,10 | 2,69 | 0,28 |
| Stroh-HKW-DM/Öl50% | -1083,5 | -0,19 | 0,01 | -0,43 | 3,24 | 0,24 |
| Stroh-HKW-DM/Öl | -2246,6 | -0,55 | -0,01 | -2,06 | 2,50 | 0,16 |
| Stroh-HKW-ORC/brutto | 147,8 | 0,31 | 0,02 | 1,35 | 4,45 | 0,36 |
| Stroh-HKW-ORC/Gas50% | -791,2 | -4,09 | 0,02 | 1,30 | 3,71 | 0,34 |
| Stroh-HKW-ORC/Gas | -1730,3 | -8,49 | 0,01 | 1,25 | 2,98 | 0,31 |
| Stroh-HKW-ORC/Öl50% | -1168,4 | -0,10 | 0,01 | -0,49 | 3,60 | 0,27 |
| Stroh-HKW-ORC/Öl | -2484,8 | -0,51 | -0,01 | -2,33 | 2,76 | 0,18 |
| FB-Holzvergaser-BHKW/brutto | 144,1 | 0,31 | 0,03 | 0,12 | 1,46 | 0,08 |
| FB-Holzvergaser-BHKW/Gas50% | -58,5 | -0,64 | 0,03 | 0,11 | 1,30 | 0,07 |
| FB-Holzvergaser-BHKW/Gas | -261,5 | -1,59 | 0,03 | 0,09 | 1,15 | 0,07 |
| FB-Holzvergaser-BHKW/Öl50% | -139,9 | 0,22 | 0,03 | -0,28 | 1,28 | 0,06 |
| FB-Holzvergaser-BHKW/Öl | -424,5 | 0,13 | 0,02 | -0,68 | 1,10 | 0,04 |
| ZWS-Holzvergaser-BHKW/brutto | 93,1 | 0,20 | 0,03 | 0,08 | 1,19 | 0,05 |
| ZWS-Holzvergaser-BHKW/Gas50% | -78,9 | -0,60 | 0,03 | 0,07 | 1,05 | 0,05 |
| ZWS-Holzvergaser-BHKW/Gas | -254,6 | -1,42 | 0,02 | 0,06 | 0,92 | 0,04 |
| ZWS-Holzvergaser-BHKW/Öl50% | -148,0 | 0,13 | 0,02 | -0,25 | 1,03 | 0,04 |
| ZWS-Holzvergaser-BHKW/Öl | -394,3 | 0,05 | 0,02 | -0,60 | 0,88 | 0,02 |
| Gas-GuD-KW (zum Vergleich) | 398,3 | 1,05 | 0,02 | 0,01 | 0,71 | 0,01 |
| Kohle-KW-DT (zum Vergleich) | 896,9 | 1,68 | 0,05 | 0,82 | 0,85 | 0,10 |

KW = Kraftwerk; DT = Dampfturbine; HKW = Heizkraftwerk; HS = Hackschnitzel;
 DM = Dampfmotor; ORC = Organic Rankine Cycle; ZWS = zirkulierende Wirbelschicht
 BHKW = Block-Heizkraftwerk mit Gasmotor

Werden nun die o. g. Ergebnisse für die Emissionen an Treibhausgasen (THG, als CO₂-Äquivalent) der Stromerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen (Restholz und Reststroh) denen der fossilen Stromerzeugung aus (Import)Steinkohle und Erdgas gegenüber gestellt und dabei die Nutzung der KWK-Abwärme variiert, ergibt sich das in Abbildung 8-1 gezeigte Bild, wenn als Wärmegutschrift eine Gasheizung dient, und für den Fall der Gutschrift auf Basis einer Ölheizung das nach Abbildung 8-2.

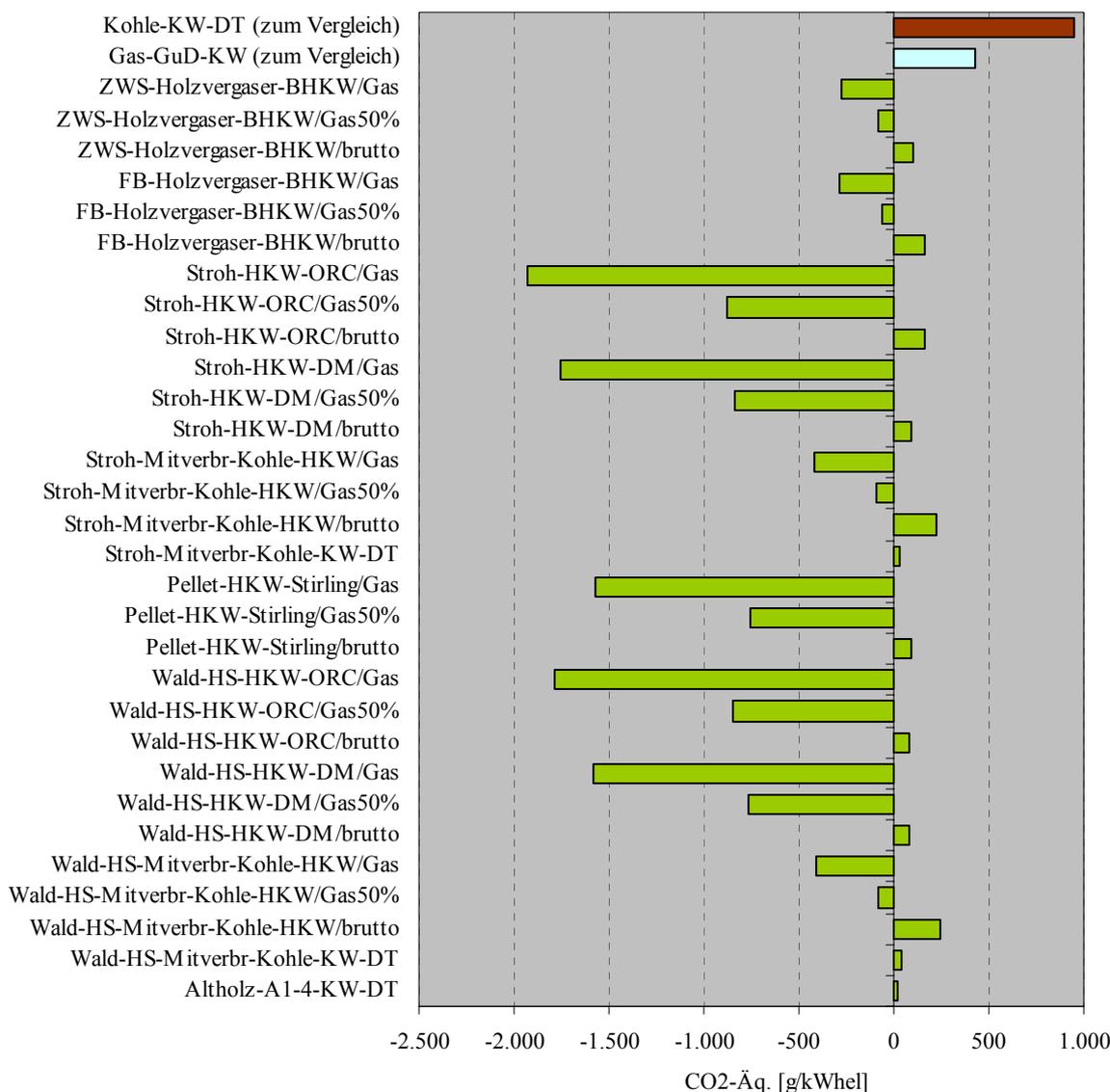


Abbildung 8-1: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus fester Biomasse bei Variation der KWK-Wärmegutschrift (Basis Erdgas) im Vergleich zu fossiler Stromerzeugung /186/

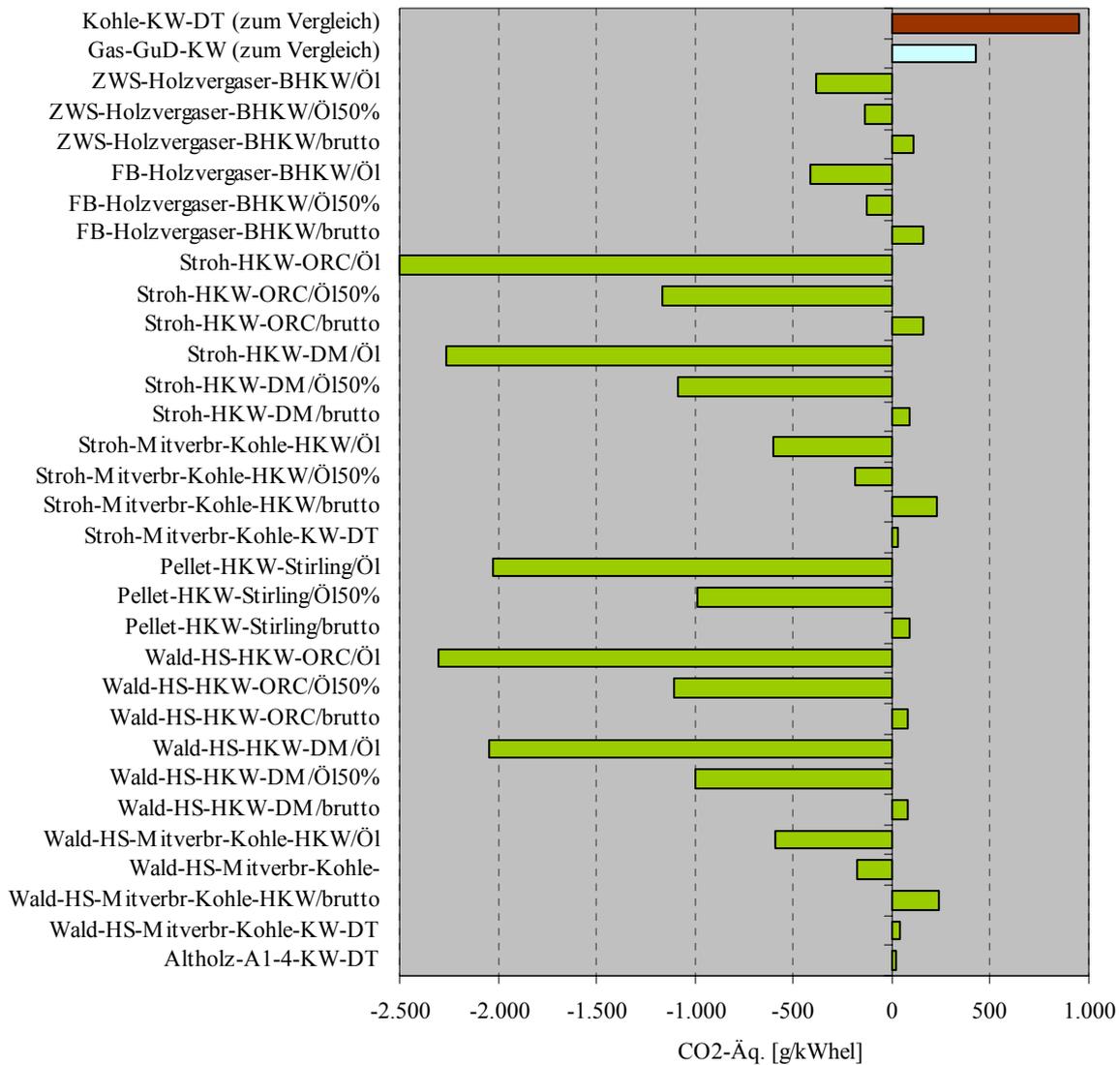


Abbildung 8-2: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus fester Biomasse bei Variation der KWK-Wärmegutschrift (Basis Heizöl) im Vergleich zu fossiler Stromerzeugung /186/

Die Stromerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen kann bereits *ohne Gutschrift* für KWK-Wärme gegenüber fossilem Strom eine THG-Reduktion um mindestens 70 % leisten. Die KWK-Systeme mit Dampfmotor, ORC und Stirling liefern viel Abwärme, so dass bei deren Nutzung (und entsprechenden Gutschriften) noch höhere THG-Reduktionen möglich sind. Dem stehen jedoch Emissionen an Luftschadstoffen gegenüber (vgl. folgende Abbildungen).

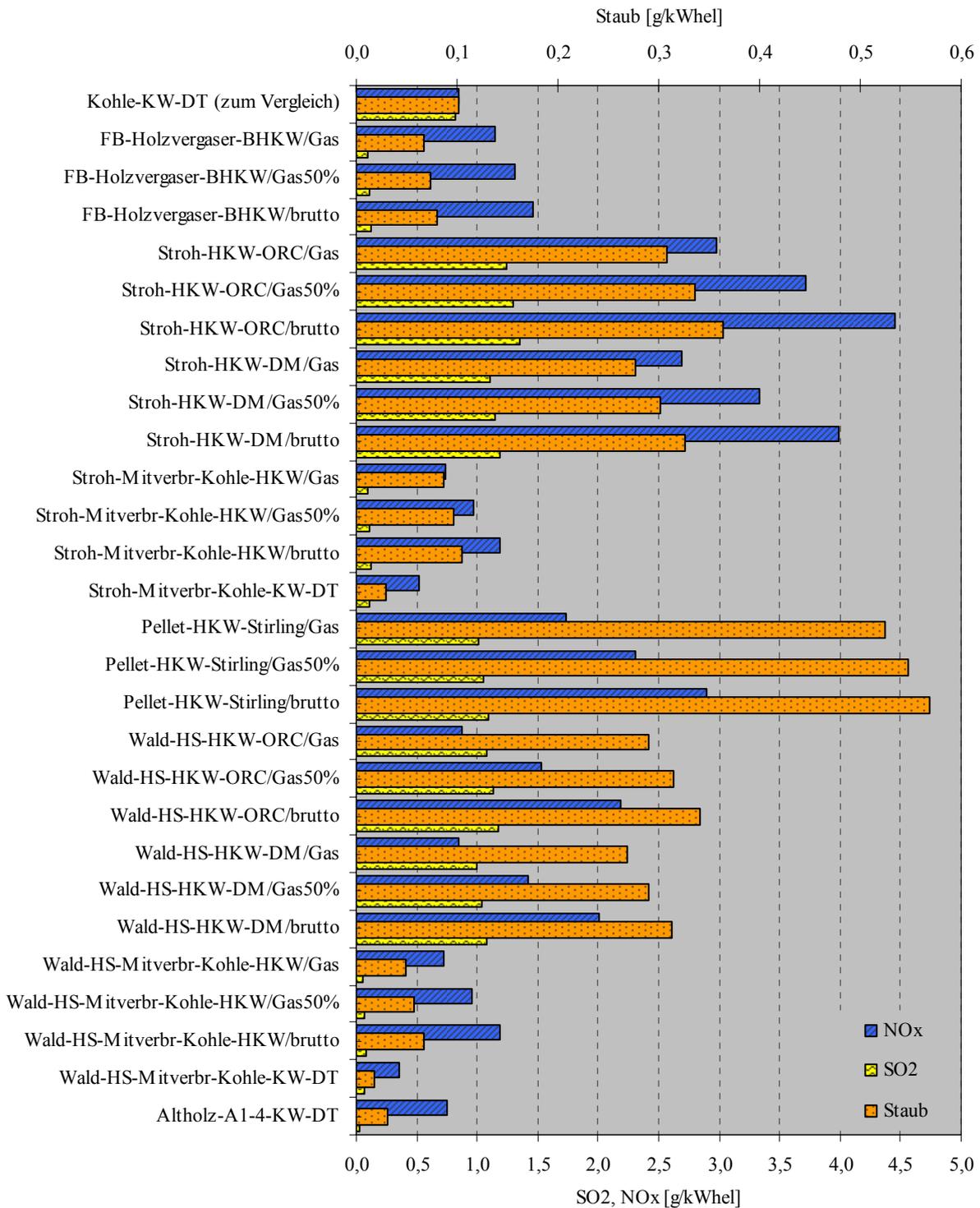


Abbildung 8-3: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus fester Biomasse im Vergleich zu Kohlestrom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Gasheizung /186/

Die Gegenüberstellung zeigt, dass der Einfluss der genutzten KWK-Wärme (Gutschrift) bei den Luftschadstoffen gering ist, soweit Gasheizungen ersetzt werden. Bei den besonders viel Wärme liefernden KWK-Systemen (Dampfmaschinen, ORC-Systeme sowie – mit einigem Abstand – Stirling) ist der Einfluss dagegen ausgeprägter. Die gleiche Bilanz zeigt das

folgende Bild für die Annahme, dass bei den KWK-Systemen die Wärmegutschrift auf Basis einer Ölheizung erfolgt.

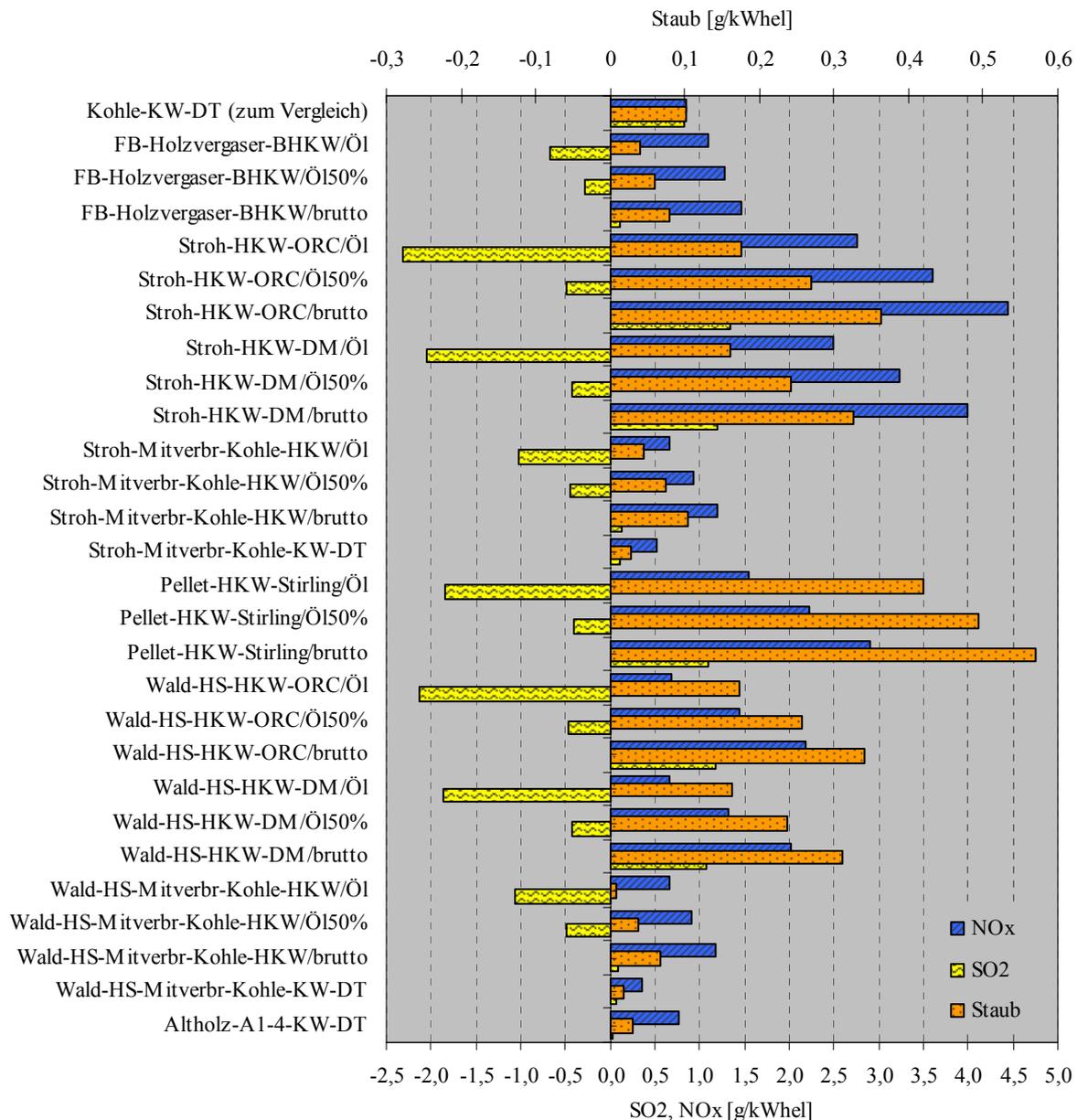


Abbildung 8-4: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus fester Biomasse im Vergleich zu Kohlestrom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Ölheizung /186/

Die Gegenüberstellung zeigt, dass der Einfluss der Wärmegutschrift bei den Luftschadstoffen deutlich ansteigt (d. h. Emissionen sinken), wenn statt Erdgas Ölheizungen ersetzt würden.

Weiterhin zeigt sich, dass einige Systeme gegenüber der fossilen Stromerzeugung deutlich höhere NOx- und Staubemissionen aufweisen. Dies gilt insbesondere Dampfmaschinen und ORC-Systeme mit fester Biomasse sowie (mit einigem Abstand) Stirling-BHKW, die mit Holzpellets betrieben werden. Diese Systeme haben eher geringe Leistung (mit entsprechend wenig anspruchsvollen Emissionsgrenzwerten) und geringe Stromerzeugungswirkungsgrade.

Gleichzeitig können diese Systeme bei nennenswerter KWK-Wärmenutzung eine sehr hohe THG-Einsparung erreichen (vgl. Abbildung 8-1 f.).

Daraus ergeben sich zwei erste Schlussfolgerungen:

- * Geringe Wirkungsgrade bei der biogenen Stromerzeugung sind für den insgesamt erreichbaren Klimaschutz *nicht* unbedingt nachteilig.
- * Im kleineren Leistungsbereich können bei geringen Wirkungsgraden infolge der emissionsrechtlichen Rahmenbedingungen *vergleichsweise hohe* Luftschadstoffemissionen auftreten.

Bislang ist die Stromerzeugung auf Basis von Dampfmotoren, ORC- und Stirling-Systemen vernachlässigbar gering (siehe /169/ f.), so dass gezielte Anstrengungen zur besseren Emissionsminderung bei diesen Systemen entwickelt und parallel zur Markteintritt eingeführt werden sollten.

Demgegenüber versprechen dezentrale und mittelgroße Vergasungssysteme mit Nutzung des Produktgases in Gasmotor-BHKW insbesondere für Waldrest- und Schwachholz geringe Luftschadstoffemissionen bei relativer hoher Treibhausgasreduktion. Das EEG bringt für diese Technologien jedoch bislang *nicht* den erhofften Beitrag zur Anschließung innovativer Vergasungskonzepte im Bereich der Stromerzeugung (siehe noch singuläre Demonstrationsprojekte in Güssing/AT und Chrisgas/SE). Hier besteht erheblicher weiterer Forschungs- und Demonstrationsbedarf⁹⁷.

Bei *Altholz* führt die Stromerzeugung in reinen Dampfturbinen-Kraftwerken (20 MW_{eI}-Klasse) schon *ohne* Wärmeauskopplung zu drastischen Emissionsminderungen gegenüber Steinkohlestrom, die Luftschadstoffe liegen nahe bei denen von Gas-GuD-Kraftwerken. Dies zeigt, dass für diesen Leistungsbereich ein umfassender Emissionsschutz etabliert ist. Dessen ungeachtet sollte auch bei größeren Stromerzeugungssystemen die Abwärme genutzt werden, womit die erreichbare Emissionsminderung sich weiter erhöhen würde.

Der Technikstand der *Stroh*verbrennung ist als marktreif einzuschätzen, dennoch gibt derzeit das EEG *keine* erkennbaren Anreize zum verstärkten Stroheinsatz. Die Stromerzeugung auf der Basis von Stroh ist zudem brennstoffbedingt durch höhere NO_x-Emissionen gekennzeichnet (Abbildung 8-3 f.). Außer der – vom EEG nicht erfassten – Mitverbrennung in größeren Kohleanlagen mit guter Abgasreinigung ist heute *kein emissionsarmes* Stromerzeugungssystem absehbar, da auch im Bereich der Vergasung kaum Stroh zum Einsatz kommt⁹⁸. Der Grund hierfür sind die relativ ungünstigen Verbrennungseigenschaften (Aschegehalt und -zusammensetzung, Anteil Flüchtige), die einen relativ hohen (und kostenwirksamen) Aufwand zur Verbrennungstechnik und Abgasreinigung erfordern, sowie

⁹⁷ Die aktuelle Planung der Stadtwerke Ulm, ein mittelgroßes Holz-HKW auf der Basis der Anlagentechnik von Güssing zu errichten, ist der erste größere Schritt in diese Richtung (SWU 2006). Auch andere EVU überlegen entsprechende Schritte.

⁹⁸ Stroh wird demgegenüber als potenzieller Einsatzstoff für künftige BtL- und Lignozellulose-EtOH-Kraftstoffe gesehen und böte hier *wesentlich günstigere* Luftschadstoffbilanzen.

die eher aufwändige Brennstofflogistik. Dem stehen zwar teilweise günstige Gestehungskosten für Stroh gegenüber, die jedoch durch die investiven Mehraufwand und höhere Betriebskosten überkompensiert werden.

Derzeit erfolgt in Deutschland noch *kein nennenswerter* Einsatz von biogenen Festbrennstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo), d. h. gezielt angebauten *Energiepflanzen*. Die *direkten* Emissionen solcher Brennstoffe entsprechen denen von biogenen Reststoffen, jedoch sind die *Gesamtemissionen* in der Umweltbilanz von *Anbaubiomassen* (Pflanzenöle, Ganzpflanzen, Kurzumtrieb, mehrjährige Gräser) *deutlich* höher – bei gleichzeitig relativ großem Potenzial /176/. Diese potenziellen biogenen Stromerzeugungssysteme erreichen wiederum hohe THG-Reduktionen, jedoch liegen die NO_x- und Staubemissionen aufgrund der Anbau-Vorketten nochmals höher.

8.1.2 Stromerzeugung aus gasförmigen Bioenergieträgern

Als gasförmige biogene Energieträger werden Biogas (aus Reststoffen sowie aus NawaRo) sowie Deponie- und Klärgas für die Stromerzeugung betrachtet. Da diese Systeme unterschiedliche Lebenswege aufweisen, werden sie getrennt dargestellt.

8.1.3 Biogas

Eine Übersicht zu den *direkten* – also nur von den Stromerzeugungssystemen *unmittelbar* ausgehenden – Emissionen pro kWh_{el} bereitgestellten Strom zeigt Tabelle 8-3.

Tabelle 8-3: Direkte Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen der Stromerzeugung aus Biogas⁹⁹ ohne Gutschrift für KWK-Wärme (Brutto-Bilanz) /186/

| Option [g/kWh _{out}] | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NO _x | Staub |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|
| Biogas-BHKW-GM 200 kW | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,30 | 0,80 | 0,02 |
| Biogas-BHKW-GM 500 kW | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,27 | 0,71 | 0,02 |
| Biogas-BHKW-GM 1000 kW | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,26 | 0,68 | 0,02 |
| Deponiegas-BHKW-GM 200 kW | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,30 | 0,81 | 0,02 |
| Deponiegas-BHKW-GM 1000 kW | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,24 | 0,70 | 0,02 |
| Klärgas-BHKW-GM 200-OxKat | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,80 | 0,02 |
| Klärgas-BHKW-GM 1000-OxKat | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,68 | 0,02 |

BHKW = Blockheizkraftwerk; GM = Gasmotor; OxKat = Magermotor mit Oxidationskatalysator

Die direkten Emissionen an Luftschadstoffen sind bei Gasmotoren mit Katalysatoren gering, die NO_x-Werte liegen unter denen von Kohle- bzw. Gas-GuD-Kraftwerken. Jedoch sind auch hier Aufwendungen der Vorketten (z. B. für Gülletransporte, Hilfsenergien) zu berücksichtigen, die entsprechenden *Gesamtbilanzen* zeigt Tabelle 8-4.

⁹⁹ Daten nur für unmittelbare Schadstoffabgaben an den Stromerzeugungssystemen, d. h. ohne vorgelagerte Emissionen und ohne Gutschriften für nutzbare Wärme (Bruttobilanz).

Tabelle 8-4: Gesamte Treibhausgas- und Luftschadstoffbilanzen (netto) der Stromerzeugung aus Biogas /186/

| Option [g/kWh _{el}] | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NO _x | Staub |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|
| <i>Biogas aus Reststoffen</i> | | | | | | |
| Gülle 200/brutto | 205,2 | 0,25 | 0,03 | 0,52 | 2,07 | 0,10 |
| Gülle 200/Gas50% | -19,6 | -0,80 | 0,03 | 0,51 | 1,89 | 0,10 |
| Gülle 200/Gas | -244,5 | -1,86 | 0,02 | 0,50 | 1,72 | 0,09 |
| Gülle 200/Öl50% | -109,9 | 0,15 | 0,02 | 0,08 | 1,87 | 0,08 |
| Gülle 200/Öl | -425,1 | 0,05 | 0,02 | -0,36 | 1,66 | 0,06 |
| Gülle 500/brutto | 166,4 | 0,19 | 0,02 | 0,46 | 1,84 | 0,09 |
| Gülle 500/Gas | -218,3 | -1,61 | 0,02 | 0,44 | 1,54 | 0,08 |
| Gülle 500/Gas50% | -24,4 | -0,71 | 0,02 | 0,45 | 1,69 | 0,08 |
| Gülle 500/Öl50% | -101,1 | 0,11 | 0,02 | 0,09 | 1,67 | 0,07 |
| Gülle 500/Öl | -372,9 | 0,02 | 0,02 | -0,29 | 1,50 | 0,05 |
| Gülle 1000/brutto | 156,9 | 0,18 | 0,02 | 0,44 | 1,75 | 0,09 |
| Gülle 1000/Gas | -190,7 | -1,45 | 0,02 | 0,42 | 1,48 | 0,08 |
| Gülle 1000/Gas50% | -15,2 | -0,63 | 0,02 | 0,43 | 1,61 | 0,08 |
| Gülle 1000/Öl50% | -84,3 | 0,10 | 0,02 | 0,10 | 1,59 | 0,07 |
| Gülle 1000/Öl | -330,4 | 0,03 | 0,02 | -0,24 | 1,44 | 0,05 |
| Biomüll/brutto | 28,1 | 0,18 | 0,02 | 0,35 | 1,16 | 0,16 |
| Biomüll/Gas50% | -162,7 | -0,71 | 0,02 | 0,34 | 1,01 | 0,16 |
| Biomüll/Gas | -356,7 | -1,62 | 0,02 | 0,33 | 0,86 | 0,15 |
| Biomüll/Öl50% | -239,4 | 0,10 | 0,02 | -0,02 | 0,99 | 0,14 |
| Biomüll/Öl | -511,3 | 0,01 | 0,02 | -0,40 | 0,82 | 0,13 |
| Fleischbrei 500/brutto | 205,3 | 0,47 | 0,02 | 0,35 | 0,95 | 0,03 |
| Fleischbrei 500/Gas50% | 14,5 | -0,42 | 0,02 | 0,34 | 0,80 | 0,02 |
| Fleischbrei 500/Gas | -179,5 | -1,33 | 0,02 | 0,33 | 0,65 | 0,02 |
| Fleischbrei 500/Öl50% | -62,2 | 0,39 | 0,02 | -0,03 | 0,78 | 0,01 |
| Fleischbrei 500/Öl | -334,0 | 0,30 | 0,02 | -0,40 | 0,61 | -0,01 |
| <i>Biogas aus NawaRo</i> | | | | | | |
| Mais 500/brutto | 139,0 | 0,25 | 0,28 | 0,44 | 1,37 | 0,11 |
| Mais 500/Gas50% | -51,9 | -0,65 | 0,28 | 0,43 | 1,22 | 0,11 |
| Mais 500/Gas | -245,8 | -1,56 | 0,28 | 0,42 | 1,07 | 0,10 |
| Mais 500/Öl50% | -128,5 | 0,16 | 0,28 | 0,06 | 1,20 | 0,09 |
| Mais 500/Öl | -400,3 | 0,08 | 0,27 | -0,31 | 1,02 | 0,07 |
| 2Kultur 500/brutto | 151,7 | 0,21 | 0,37 | 0,43 | 2,15 | 0,11 |
| 2Kultur 500/Gas50% | -39,1 | -0,69 | 0,37 | 0,42 | 2,00 | 0,11 |
| 2Kultur 500/Gas | -233,1 | -1,60 | 0,37 | 0,41 | 1,85 | 0,10 |
| 2Kultur 500/Öl50% | -115,8 | 0,12 | 0,37 | 0,06 | 1,98 | 0,09 |
| 2Kultur 500/Öl | -387,6 | 0,04 | 0,37 | -0,32 | 1,81 | 0,07 |
| <i>zum Vergleich: Gas-GuD-KW</i> | 398,3 | 1,05 | 0,02 | 0,01 | 0,71 | 0,01 |

brutto = o. Gutschrift; Gas50% bzw. Öl50% = Gutschrift für 50% der KWK-Wärme durch Gas- bzw. Ölheizung (Rest ungenutzt);

Gas bzw. Öl = Gutschrift für 100% der KWK-Wärme durch Gas- bzw. Ölheizung

Deutlich sichtbar ist bei der Biogas-Stromerzeugung aus organischen *Reststoffen*, dass im Vergleich zu den direkten Emissionen höhere Gesamtemissionen entstehen (insbes. NO_x und Staub) und Biogas aus *Energiepflanzen* nochmals (leicht) höhere Gesamtluftschadstoffemissionen zeigt. Grund hierfür sind insbesondere die Transportaufwände für die Anlieferung biogener Reststoffe an die Biogasanlage sowie deren relativ hoher Prozesswärmebedarf, dessen Deckung zwar aus erzeugtem Biogas erfolgt, aber mit Emissionen verbunden ist. In Tabelle 8-4 ist Biogas aus unterschiedlichen Optionen zum Energiepflanzenanbau enthalten.

Neben Mais wurden Zwei-Kulturen-Systeme („2Kultur“) einbezogen, bei denen auf klimatisch geeigneten Flächen eine zweifache Ernte pro Jahr möglich ist. Das folgende Bild (Abbildung 8-5) zeigt die Emissionen an Treibhausgasen (als CO₂-Äquivalent) der Stromerzeugung aus Biogas gegenüber fossiler Nur-Stromerzeugung.

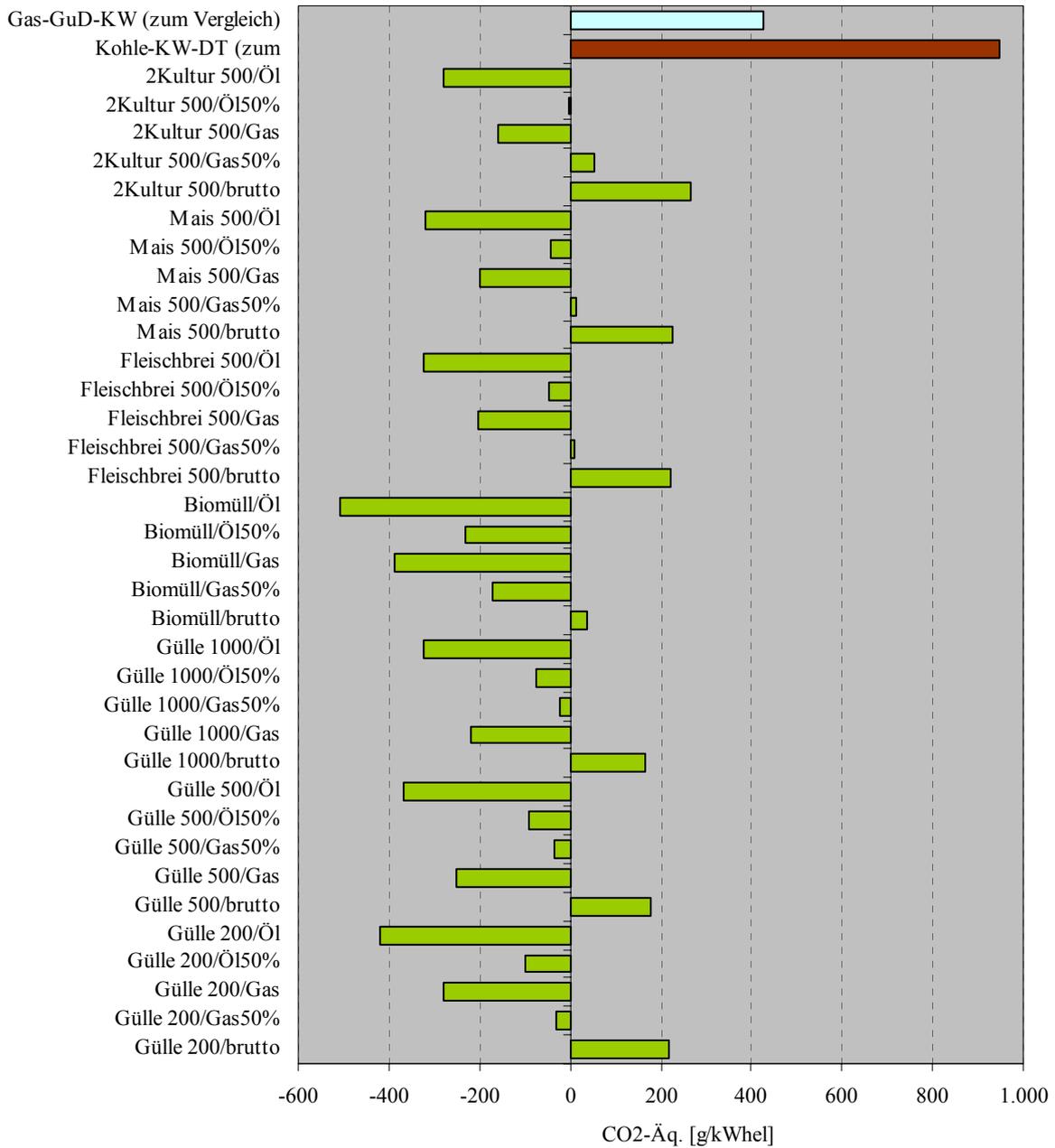


Abbildung 8-5: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus Biogas im Vergleich zu Erdgas- und Kohlestrom /186/

Die *Brutto*-Bilanzen des Biogases aus Energiepflanzen betragen – schon *ohne* jede Gutschrift – bei den THG nur max. 50 % der Emissionen von Erdgas-GuD-Kraftwerken (bzw. etwa 25 % der von Steinkohlestrom. Durch die Anrechnung einer Gutschrift für KWK-Wärme sinken die Emissionen schon bei nur hälftiger Nutzung der Abwärme unter Null, d. h. die Gutschrift ist größer als die Gesamtemissionen der Strom- und Wärmebereitstellung durch das KWK-System. Je nachdem, in welchem Umfang die Wärmegutschrift realisiert werden

kann (50 % bzw. vollständig) und auf welcher Basis die Gutschrift erfolgt (Gas- oder Öl-Heizung) ergeben sich große THG-Emissionsreduktionen gegenüber fossilem Strom. Bei den Luftschadstoffemissionen ist das Ergebnis differenzierter – je nachdem, ob Erdgas-Heizungen für die (50 %-ige oder komplette) Wärmegutschrift angenommen werden oder Ölheizungen, ändern sich die Verhältnisse sichtbar (vgl. Abbildung 8-6 f.).

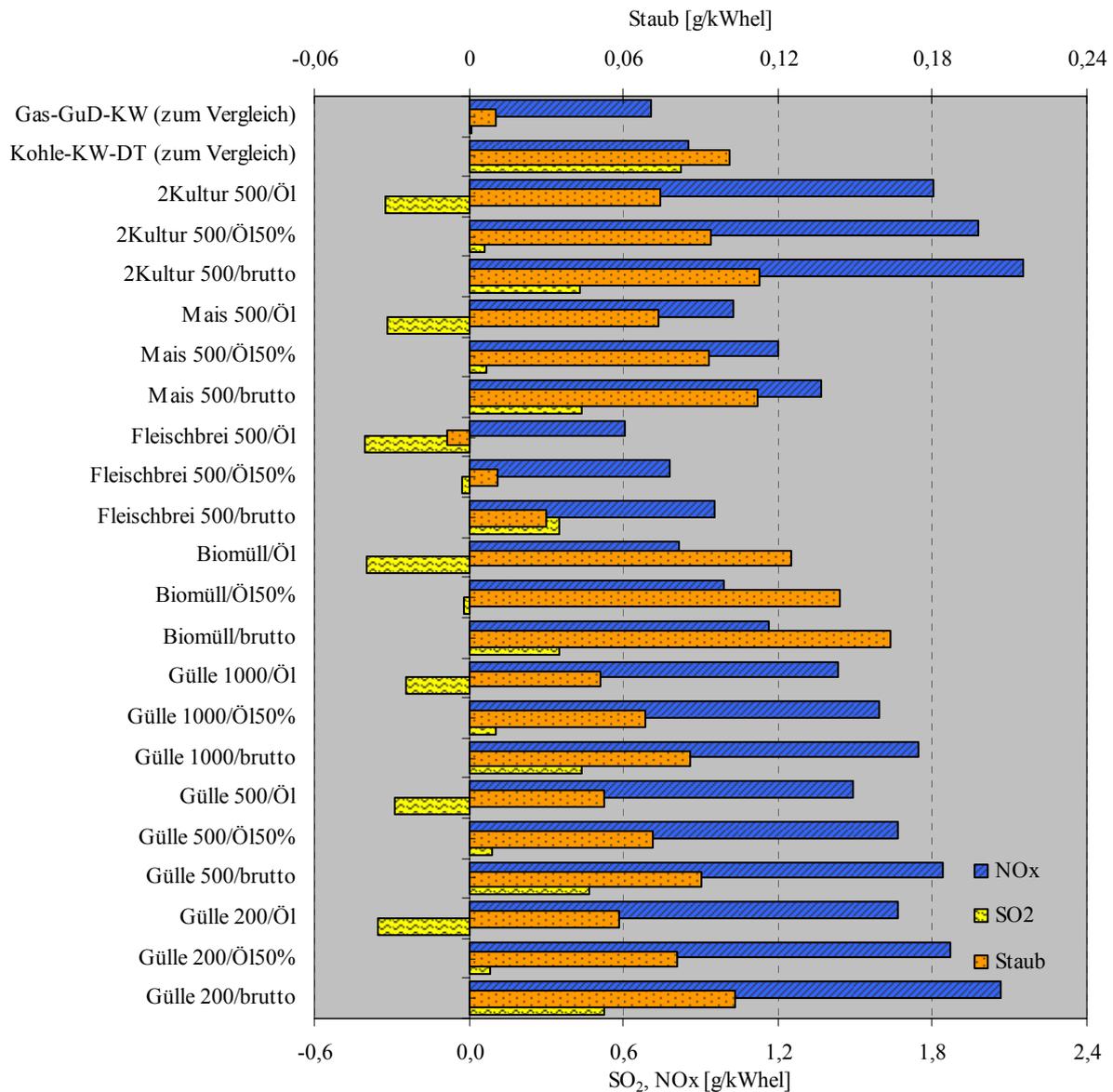


Abbildung 8-6: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Biogas im Vergleich zu fossilen Strom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Gasheizung /186/

Beim Ansetzen einer Gutschrift für KWK-Wärme auf Basis einer Erdgasheizung ist der Einfluss auf die Luftschadstoffbilanzen eher gering, da Erdgasheizungen nur relativ geringe Emissionen aufweisen. Die NO_x-Emissionen der Biogas-Systeme liegen etwa doppelt so hoch wie die des Gas-GuD-Kraftwerks, die Staub- und SO₂-Emissionen betragen ein Mehrfaches. Jedoch ist dabei zu berücksichtigen, dass die absoluten Niveaus der Schadstoffemissionen vergleichsweise niedrig liegen. Wird als Gutschrift eine Ölheizung angenommen, ergibt sich

ein geringfügig anderes Bild; d. h. geringere Gesamtemissionen für Staub und SO₂, während die NO_x-Emissionen weitgehend unbeeinflusst bleiben (Abbildung 8-7).

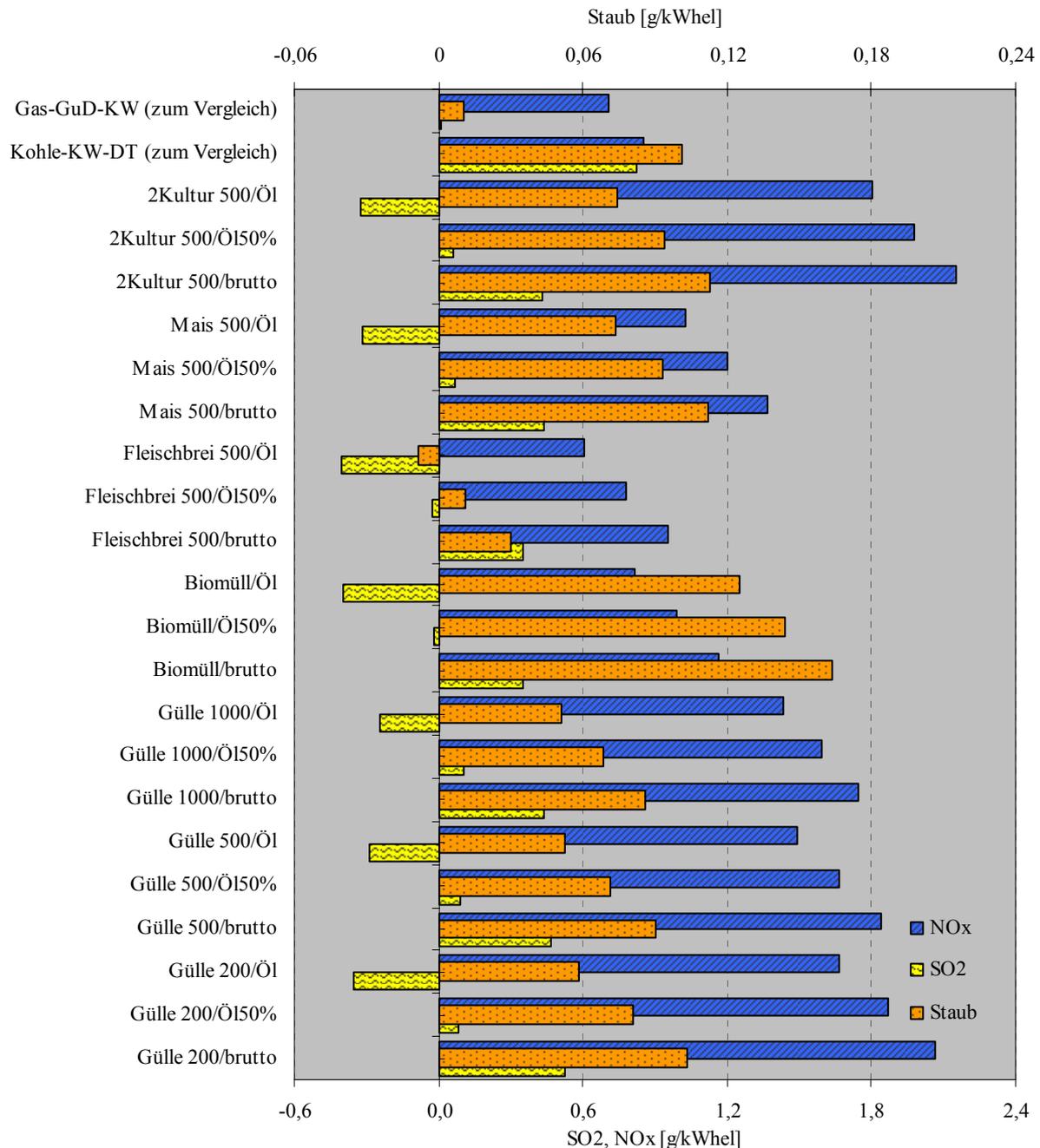


Abbildung 8-7: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Biogas im Vergleich zu fossilen Strom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Ölheizung /186/

Offene Fragen bei der Biogasnutzung

Es kann keine belastbare Bilanzierung der Emissionen für die sog. *Trockenfermentation* erfolgen, da hierzu nur vereinzelte Daten vorliegen.

Auf Grundlage einiger Modellstudien wird zudem künftig die *Einspeisung* von aufbereitetem Biogas in Erdgasnetze und die nachfolgende motorische Nutzung in Gas-BHKW steigen,

soweit die Erfahrungen aus angelaufenen Pilotprojekten positiv sind. Die Emissionen dieser Anlagen (z. B. CH₄-Leckagen, Nutzung von abgetrenntem CO₂, Emissionen aus Kompressionsaufwand) sollten daher in künftigen Monitoring-Vorhaben erfasst und für entsprechende Bilanzrechnungen herangezogen werden.

Eine *orientierende* Bilanzierung, die auf den noch theoretischen Annahmen der Modellstudien und eigenen Überlegungen zu möglichen Methanverlusten beruht, zeigt Abbildung 8-8.

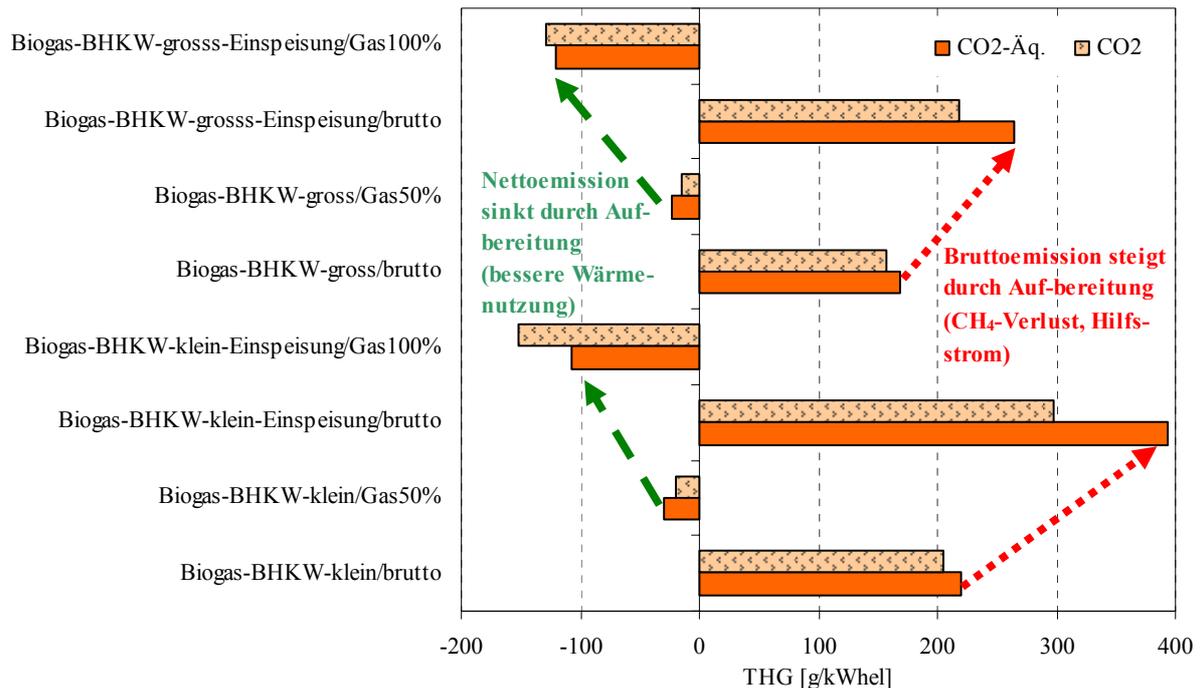


Abbildung 8-8: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus Biogas im Falle der Aufbereitung und Einspeisung und Nutzung im BHKW im Vergleich zu direkter Nutzung mit geringerer Wärmegutschrift /186/

Die Grafik zeigt zuerst, dass im Fall der „Brutto“-Bilanzierung des Biogas-Stroms (ohne Gutschrift für KWK-Wärme) durch die Aufbereitung und Einspeisung eine deutliche Erhöhung der THG-Emissionen auftritt, die sowohl durch den Strombedarf wie auch die direkten CH₄-Verluste der Aufbereitung bedingt werden. Der Effekt ist bei der kleineren Anlage (50 m³/h Durchsatz bzw. 300 kW_{th}) gegenüber der großen Anlage (500 m³/h bzw. 3 MW_{th}) deutlicher ausgeprägt, da hier Strombedarf und CH₄-Verluste spezifisch höher liegen¹⁰⁰.

Zu beachten ist jedoch, dass durch die Aufbereitung und Einspeisung eine „Entkopplung“ von Biogasnutzung im BHKW und Biogasanlage stattfindet und damit Standorte für das BHKW gewählt werden können, die die volle Abwärmenutzung erlauben. Dies ist in der obigen Grafik

¹⁰⁰ Die Methanverluste durch die Aufbereitung und Einspeisung wurden für die kleine Anlage mit 2% und für die große Anlage mit 1% des Gasdurchsatzes angenommen, als Hilfsstrombedarf 3% des Energiegehaltes des aufbereiteten Biogases. Diese Daten beruhen auf internen Herstellerangaben.

(Abbildung 8-8) berücksichtigt: Während als Regelfall für die Biogasnutzung ohne Einspeisung nur eine Abwärmenutzung von 50 % (Ersatz Gasheizung) möglich ist, kann die Aufbereitung und Einspeisung zu 100 % Abwärmenutzung führen, womit sich insgesamt eine günstigere Bilanz sowohl für die kleine wie auch für die große BHKW-Variante ergibt. Dieser Vorteil würde erst bei CH₄-Verlusten über 5 % und Strombedarfen für Aufbereitung und Einspeisung über 5 % kompensiert werden¹⁰¹.

8.1.4 Klär- und Deponiegase

Schon länger in die Praxis eingeführt ist die motorische Verstromung von Klär- und Deponiegas, wo aufgrund von Standortbedingungen in der Regel die anfallende Abwärme nur teilweise nutzbar ist. Eine Übersicht zu den *direkten* – also nur von den Stromerzeugungssystemen unmittelbar ausgehenden - Emissionen pro kWh_{el} bereitgestellten Strom zeigt Tabelle 8-5.

Tabelle 8-5: Direkte Treibhausgas- und Luftschadstoffbilanz (brutto) der Stromerzeugung aus biogenen Gasen /186/

| Option [g/kWh _{out}] | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NO _x | Staub |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|
| Deponiegas-BHKW-GM 200 kW | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,30 | 0,81 | 0,02 |
| Deponiegas-BHKW-GM 1000 kW | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,24 | 0,70 | 0,03 |
| Klärgas-BHKW-GM 1000-OxKat | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,68 | 0,02 |
| Klärgas-BHKW-GM 200-OxKat | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,80 | 0,02 |

BHKW = Blockheizkraftwerk; GM = Gasmotor; OxKat = Magermotor mit Oxidationskatalysator

Die Vorketten spielen bei Klär- und Deponiegas fast keine Rolle – die Brutto-Gesamtemissionen (Tabelle 8-6) entsprechen weitestgehend den o. g. direkten Emissionen.

Soweit sich eine (teilweise) Nutzung der Abwärme realisieren lässt, können insgesamt negative Treibhausgas- und relativ geringe Luftschadstoffemissionen auftreten.

Tabelle 8-6: Treibhausgas- und Luftschadstoffbilanzen der Stromerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen /186/

| Option [g/kWh _{el}] | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NO _x | Staub |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|
| Klärgas 50/brutto | 0,0 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,89 | 0,02 |
| Klärgas 50/Gas50% | -264,5 | -1,21 | 0,02 | -0,01 | 0,68 | 0,01 |
| Klärgas 50/Gas | -529,1 | -2,45 | 0,02 | -0,03 | 0,47 | 0,01 |
| Klärgas 50/Öl50% | -369,5 | -0,16 | 0,02 | -0,52 | 0,65 | 0,00 |
| Klärgas 50/Öl | -739,0 | -0,34 | 0,01 | -1,04 | 0,41 | -0,03 |
| Klärgas 200/brutto | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,80 | 0,02 |
| Klärgas 200/Gas50% | -224,8 | -1,03 | 0,02 | -0,01 | 0,62 | 0,01 |
| Klärgas 200/Gas | -449,7 | -2,08 | 0,02 | -0,02 | 0,45 | 0,01 |
| Klärgas 200/Öl50% | -314,1 | -0,13 | 0,02 | -0,44 | 0,60 | 0,00 |
| Klärgas 200/Öl | -628,1 | -0,29 | 0,01 | -0,88 | 0,39 | -0,02 |
| Deponiegas 200/brutto | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,81 | 0,02 |

¹⁰¹ Dessen ungeachtet sollten die CH₄-Verluste bei der Aufbereitung und Einspeisung unbedingt minimiert werden, um Explosions- und Vergiftungsgefahren zu reduzieren.

| Option [g/kWh _{el}] | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NO _x | Staub |
|---|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|
| Deponiegas 200/Gas50% | -224,8 | -1,03 | 0,02 | 0,02 | 0,64 | 0,01 |
| Deponiegas 200/Gas | -449,7 | -2,08 | 0,02 | 0,00 | 0,46 | 0,01 |
| Deponiegas 200/Öl50% | -314,1 | -0,13 | 0,02 | -0,41 | 0,61 | 0,00 |
| Deponiegas 200/Öl | -628,1 | -0,29 | 0,01 | -0,85 | 0,41 | -0,02 |
| Deponiegas 1 MW/brutto | 0,0 | 0,02 | 0,02 | 0,24 | 0,70 | 0,00 |
| Deponiegas 1 MW/Gas50% | -173,8 | -0,79 | 0,02 | 0,23 | 0,56 | -0,01 |
| Deponiegas 1 MW/Gas | -347,7 | -1,61 | 0,01 | 0,22 | 0,42 | -0,01 |
| Deponiegas 1 MW/Öl50% | -242,8 | -0,10 | 0,01 | -0,10 | 0,54 | -0,02 |
| Deponiegas 1 MW/Öl | -485,6 | -0,22 | 0,01 | -0,44 | 0,38 | -0,03 |
| zum Vergleich: Erdgas-GuD-KW (zum Vergleich) | 398,3 | 1,05 | 0,02 | 0,01 | 0,71 | 0,01 |

brutto = o. Gutschrift; Gas50% bzw. Öl50% = Gutschrift für 50% der KWK-Wärme durch Gas- bzw. Ölheizung (Rest ungenutzt);

Gas bzw. Öl = Gutschrift für 100% der KWK-Wärme durch Gas- bzw. Ölheizung

Die Emissionen an Treibhausgasen (CO₂-Äquivalent) der Stromerzeugung aus Klär- und Deponiegas gegenüber denen der Erdgasverstromung zeigt die folgende Abbildung 8-9.

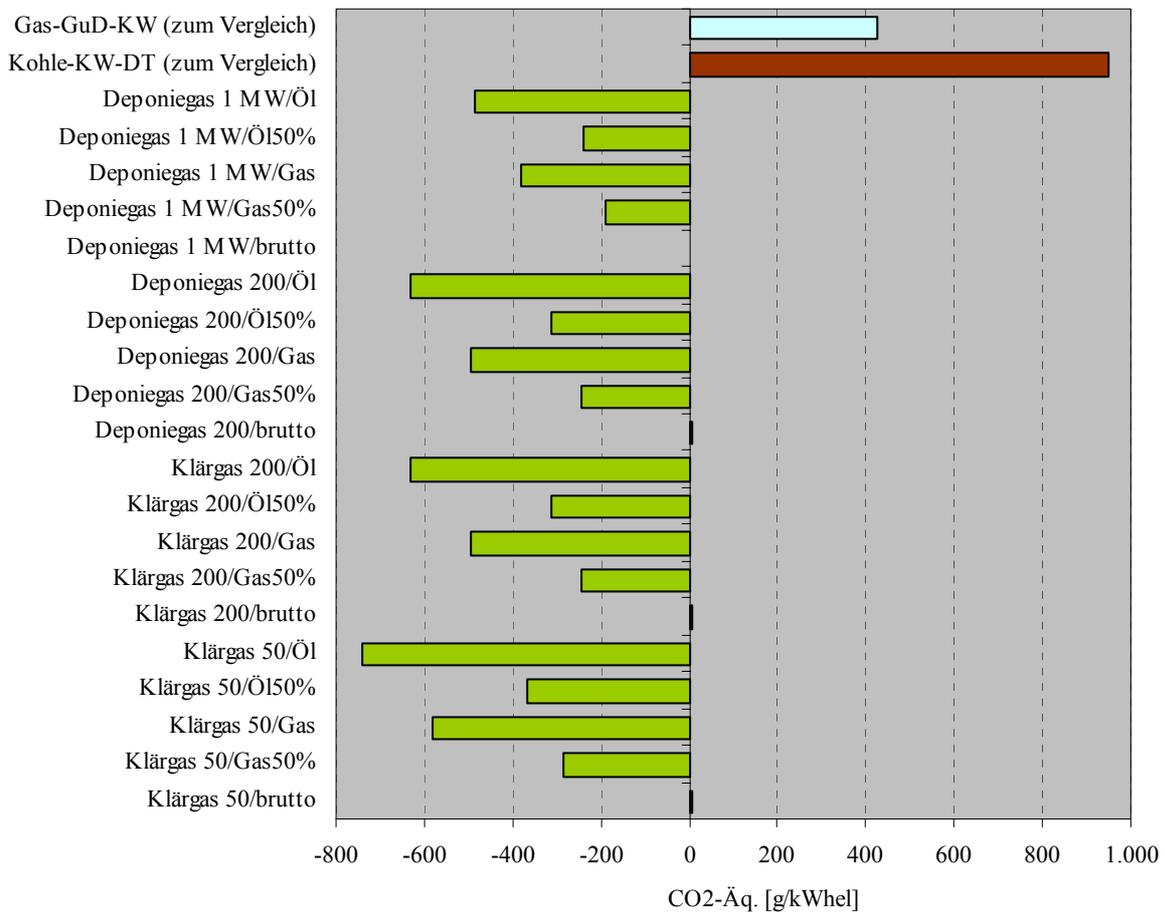


Abbildung 8-9: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus Klär- und Deponiegas im Vergleich zu fossiler Stromerzeugung /186/

Schon die *Brutto*-Bilanzen des Klär- und Deponiegases führen – ohne jede Gutschrift – bei den THG zu fast 100 % der Reduktion der THG-Emissionen von fossilen Kraftwerken. Durch die Anrechnung einer Gutschrift für genutzte KWK-Wärme sinken die Emissionen in den

negativen Bereich, d. h. die Gutschrift ist größer als die Gesamtemissionen der Strom- und Wärmebereitstellung durch das KWK-System. Je nachdem, in welchem Umfang die Wärmegutschrift realisiert werden kann (50 % bzw. vollständig) und auf welcher Basis die Gutschrift erfolgt (Erdgas- oder Öl-Heizung) ergeben sich z. T. sehr deutliche THG-Emissionsreduktionen gegenüber dem fossilem Strom.

Bei den *Luftschadstoffemissionen* ist das Ergebnis differenzierter – je nachdem, ob Erdgas-Heizungen für die (50%ige oder komplette) Wärmegutschrift angenommen werden oder Ölheizungen, ändern sich die Verhältnisse sichtbar (vgl. Abbildung 8-10 f.).

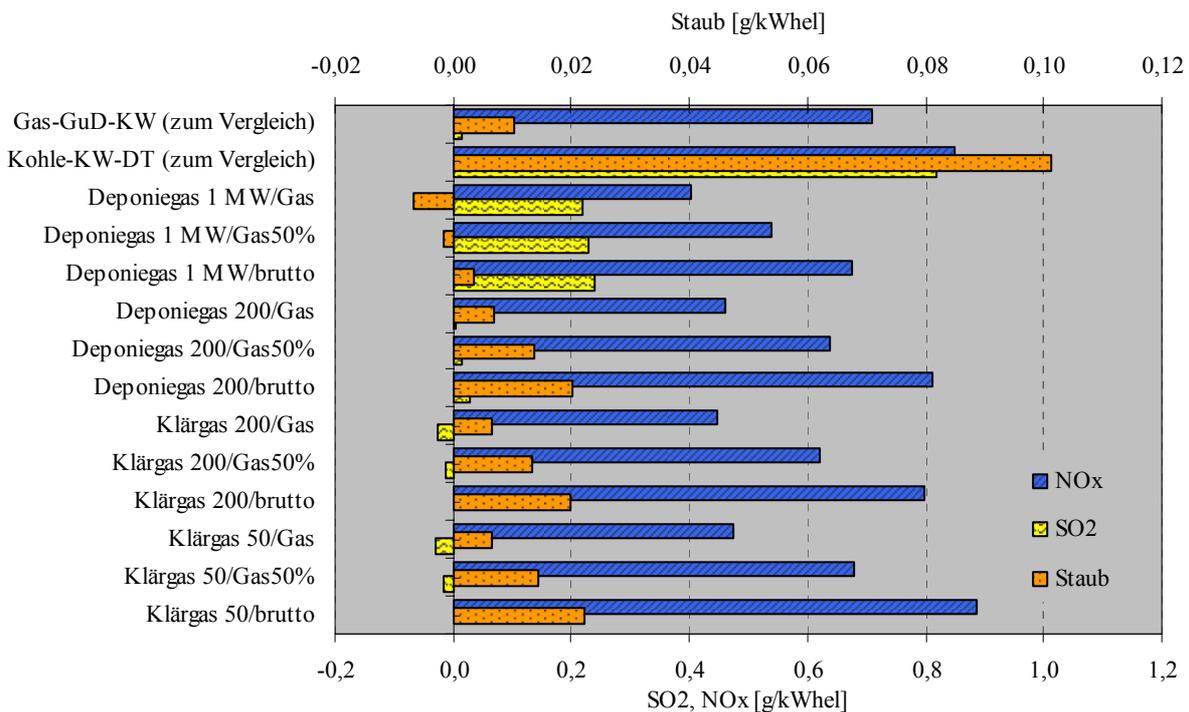


Abbildung 8-10: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Klär- und Deponiegas im Vergleich zu fossiler Stromerzeugung, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Gasheizung /186/

Die folgende Grafik zeigt den entsprechenden Vergleich für die KWK-Wärmegutschrift auf Basis einer Ölheizung.

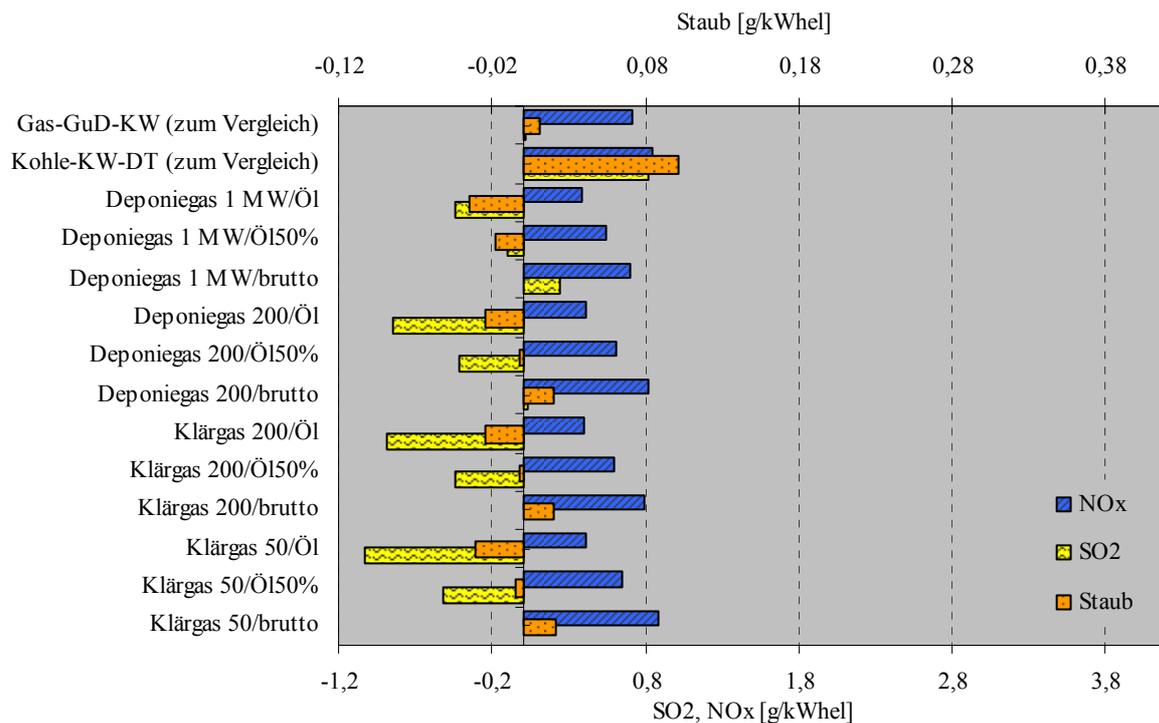


Abbildung 8-11: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Klär- und Deponiegas im Vergleich zu Erdgasstrom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Ölheizung /186/

Die Klär- und Deponiegasnutzung zur Stromerzeugung kann *schon ohne* Wärmegutschriften ein Emissionsniveau von Luftschadstoffen erreichen, das in etwa dem von Erdgas-Strom entspricht. Werden Gutschriften (anteilig) angerechnet, so liegen SO₂- und Staubemissionen unter denen von Erdgasstrom und die NO_x-Emissionen bei voller Gutschrift etwa gleich auf.

8.1.5 Stromerzeugung aus flüssigen Bioenergieträgern

Neben festen und gasförmigen biogenen Brennstoffen steigt auch – bei insgesamt noch geringem Umfang – die Verstromung von Pflanzenölen insbesondere in Dieselmotoren. Eine Übersicht zu den *direkten* – also nur von den Stromerzeugungssystemen unmittelbar ausgehenden – Emissionen pro kWh_{el} bereitgestelltem Strom zeigt (Tabelle 8-7).

Tabelle 8-7: Direkte Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen der Stromerzeugung aus biogenen Ölen /186/

| Option [g/kWh _{out}] | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NO _x | Staub |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|
| RME-BHKW-gross | 0,0 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 1,88 | 0,08 |
| RME-BHKW-klein | 0,0 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 1,88 | 0,13 |

RME = Rapsölmethylester; BHKW = Blockheizkraftwerk (Dieselmotor)

Durch die *Vorketten* zur Bereitstellung der Pflanzenölen bzw. deren Derivaten (RME oder Biodiesel aus Palmöl) sowie z.T. durch die globalen Transporte (Import von Palmöl aus

Südostasien) entstehen demgegenüber *erhebliche* Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen, wie Tabelle 8-8 zeigt¹⁰².

Tabelle 8-8: Treibhausgas- und Luftschadstoffbilanzen der Stromerzeugung aus biogenen Ölen /186/

| Option [g/kWh _{el}] | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NO _x | Staub |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|
| <i>Rapsöl</i> | | | | | | |
| Rapsöl-klein/brutto | 109,8 | 0,4 | 1,4 | -0,3 | 2,0 | 0,1 |
| Rapsöl-klein/Gas50% | -268,8 | -1,4 | 1,4 | -0,3 | 1,7 | 0,1 |
| Rapsöl-klein/Gas | -647,2 | -3,2 | 1,4 | -0,3 | 1,4 | 0,1 |
| Rapsöl-klein/Öl50% | -421,8 | 0,2 | 1,4 | -1,0 | 1,7 | 0,1 |
| Rapsöl-klein/Öl | -953,0 | 0,0 | 1,4 | -1,8 | 1,4 | 0,0 |
| Rapsöl-gross/brutto | 83,8 | 0,3 | 1,1 | -0,2 | 2,0 | 0,1 |
| Rapsöl-gross/Gas50% | -75,0 | -0,4 | 1,1 | -0,2 | 1,9 | 0,1 |
| Rapsöl-gross/Gas | -236,4 | -1,2 | 1,1 | -0,2 | 1,7 | 0,1 |
| Rapsöl-gross/Öl50% | -139,1 | 0,2 | 1,1 | -0,5 | 1,8 | 0,1 |
| Rapsöl-gross/Öl | -365,7 | 0,2 | 1,1 | -0,8 | 1,7 | 0,1 |
| <i>Biodiesel auf Rapsölbasis</i> | | | | | | |
| RME-klein/brutto | -128,6 | 0,1 | 1,1 | -0,4 | 1,8 | 0,2 |
| RME-klein/Gas50% | -425,4 | -1,3 | 1,1 | -0,5 | 1,5 | 0,1 |
| RME-klein/Gas | -722,2 | -2,7 | 1,1 | -0,5 | 1,3 | 0,1 |
| RME-klein/Öl50% | -549,0 | -0,1 | 1,1 | -1,0 | 1,5 | 0,1 |
| RME-klein/Öl | -961,9 | -0,2 | 1,1 | -1,6 | 1,2 | 0,1 |
| RME-gross/brutto | -125,2 | 0,1 | 1,1 | -0,4 | 1,8 | 0,1 |
| RME-gross/Gas50% | -414,1 | -1,3 | 1,1 | -0,4 | 1,6 | 0,1 |
| RME-gross/Gas | -703,1 | -2,6 | 1,0 | -0,5 | 1,3 | 0,1 |
| RME-gross/Öl50% | -530,9 | -0,1 | 1,0 | -1,0 | 1,5 | 0,1 |
| RME-gross/Öl | -936,5 | -0,2 | 1,0 | -1,6 | 1,3 | 0,0 |
| <i>Palmöl</i> | | | | | | |
| Palmöl-klein/brutto | 439,2 | 7,3 | 1,4 | 1,7 | 5,8 | 12,6 |
| Palmöl-klein/Gas50% | 59,6 | 5,4 | 1,4 | 1,7 | 5,5 | 12,6 |
| Palmöl-klein/Gas | -320,0 | 3,6 | 1,4 | 1,7 | 5,2 | 12,6 |
| Palmöl-klein/Öl50% | -93,7 | 7,1 | 1,4 | 1,4 | 5,5 | 12,6 |
| Palmöl-klein/Öl | -626,7 | 6,9 | 1,4 | 1,1 | 5,1 | 12,5 |
| Palmöl-gross/brutto | 335,2 | 5,5 | 1,1 | 1,3 | 4,9 | 9,7 |
| Palmöl-gross/Gas50% | 176,4 | 4,8 | 1,1 | 1,3 | 4,8 | 9,7 |
| Palmöl-gross/Gas | 16,9 | 4,0 | 1,1 | 1,3 | 4,6 | 9,7 |
| Palmöl-gross/Öl50% | 111,7 | 5,5 | 1,1 | 1,2 | 4,7 | 9,7 |
| Palmöl-gross/Öl | -111,7 | 5,4 | 1,1 | 1,1 | 4,6 | 9,7 |
| <i>zum Vergleich</i> | | | | | | |
| Erdgas-GuD-KW | 398,3 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 |
| Steinkohle-KW-DT | 896,9 | 1,7 | 0,0 | 0,8 | 0,8 | 0,1 |

brutto = o. Gutschrift; Gas50% bzw. Öl50% = Gutschrift für 50% der KWK-Wärme durch Gas- bzw. Ölheizung (Rest ungenutzt);
Gas bzw. Öl = Gutschrift für 100% der KWK-Wärme durch Gas- bzw. Ölheizung

Deutlich sichtbar ist aus der Gesamtbilanz, dass die *alleinige* Verstromung von Pflanzenölen gegenüber Strom aus Erdgas-GuD-Kraftwerken zu *Mehremissionen* von Treibhausgasen zwischen 50 und 100 % führt, während gegenüber Kohlestrom eine leichte Reduktion (außer

¹⁰² Die Daten für Palmöl stellen noch vorläufige Werte da, die im Rahmen des BMU-geförderten *renewability*-Projekts des Öko-Instituts noch validiert bzw. korrigiert werden. Andere Untersuchungen (z. B. von IFEU) kommen zu abweichenden Bilanzen, daher besteht hier noch Klärungsbedarf.

bei Palmöl) eintritt (Abbildung 8-12). Durch die Nutzung der Abwärme zur Substitution von Gasheizungen kann die Treibhausgasbilanz verbessert werden, wobei für Rapsöl und RME erst bei Nutzungsanteilen um 50 % nennenswerte Einsparungen auftreten. Bei Palmöl tritt eine Netto-Einsparung sogar erst bei anteiliger Wärmenutzung über 75 % ein. Würden dagegen Ölheizungen substituiert, so würde durchweg bei Anteilen von 50 % Wärmenutzung eine Einsparung gegenüber Erdgasstrom erzielt (Ausnahme wiederum Palmöl in kleinen Dieselmotoren). Die Gründe für die hohen Palmöl-Emissionen bei den Treibhausgasen liegen einerseits in Überseetransport und Düngung sowie der Düngemittelherstellung (zusammen ca. 45% der THG-Emissionen) und andererseits im Abbrennen der Altplantage (Vornutzung), die bei den Methanemissionen zu einer Erhöhung führt.

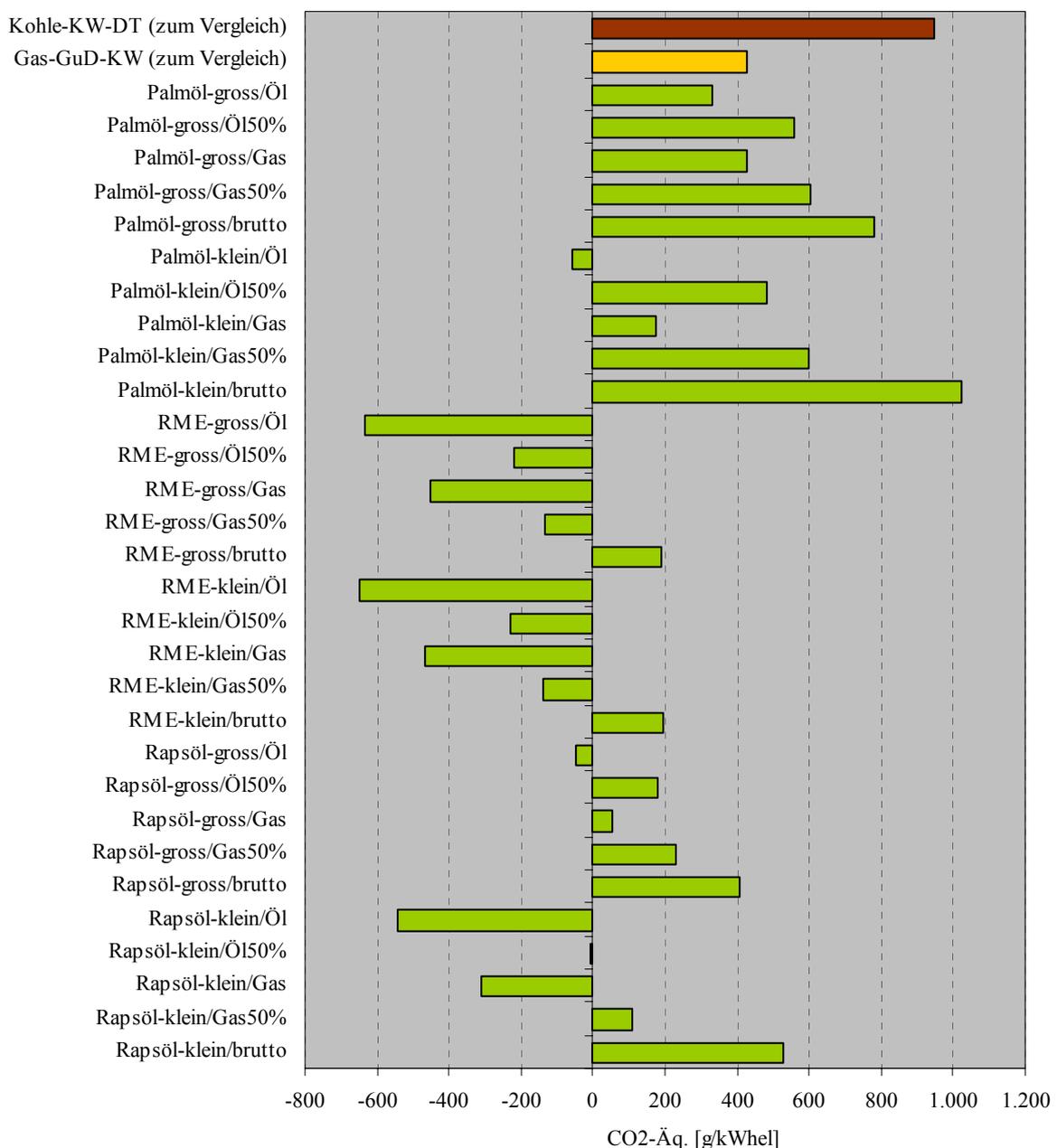


Abbildung 8-12: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus Pflanzenölen im Vergleich zu Kohle- und Erdgasstrom /186/

Die Luftschadstoffbilanzen aller Systeme – differenziert nach der Gutschrift – zeigen die folgenden Grafiken.

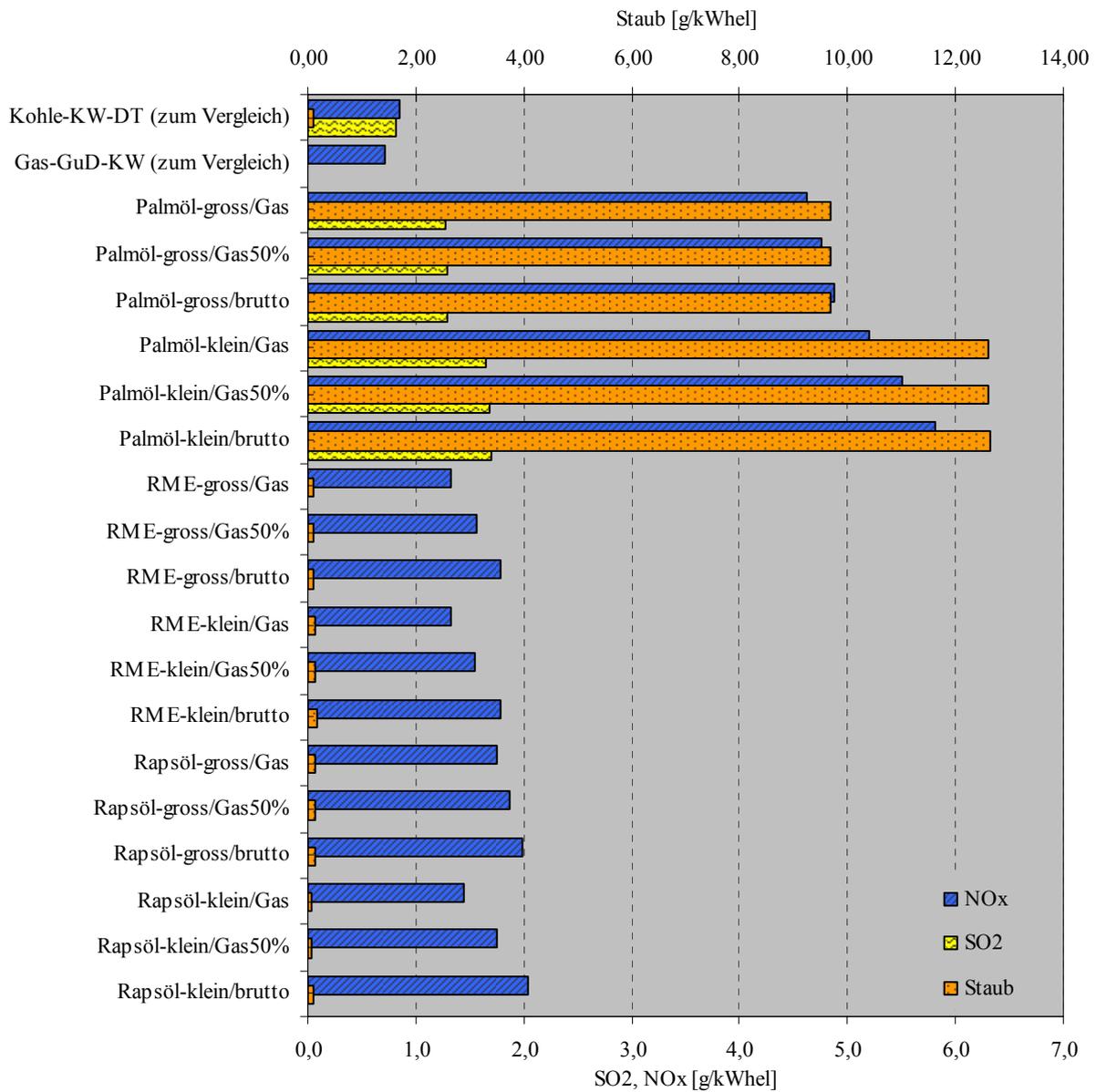


Abbildung 8-13: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Pflanzenölen im Vergleich zu Kohle- und Erdgasstrom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Gasheizung /186/

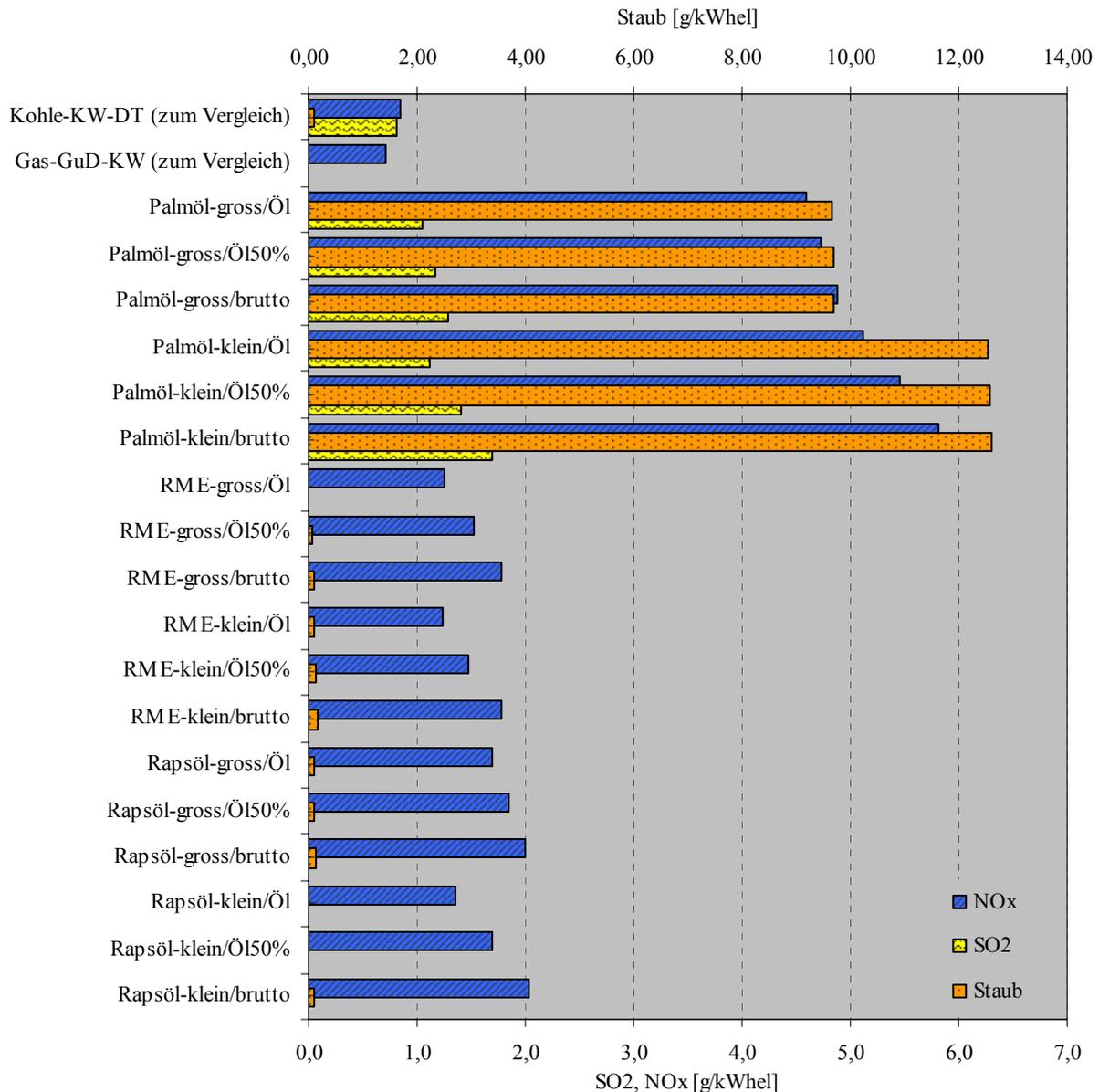


Abbildung 8-14: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Pflanzenölen im Vergleich zu Kohle- und Erdgasstrom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Ölheizung /186/

Bei den Luftschadstoffbilanzen liegen alle Systeme – unabhängig von einer Gutschrift – z. T. drastisch über denen von Erdgasstrom, gegenüber Kohlestrom sind die NO_x-Emissionen deutlich höher, während bei Staub in etwa gleich hohe und bei SO₂ leichte Reduktionen auftreten. Eine Ausnahme davon bildet importiertes Palmöl, das *deutlich* höhere Emissionen bei *allen* Schadstoffen zeigt. Der Grund hierfür liegt einerseits im Überseetransport (ca. 40 % der SO₂-Emissionen), andererseits in der Anbausituation (Abrennen der Altplantage, Düngung und Düngemittelherstellung, ca. 30 % der NO_x-Emissionen). Bei Staub dominiert das Abrennen der Altplantage (Vornutzung) mit gut 95 % der Gesamtemissionen. Diese Ergebnisse gelten praktisch unabhängig davon, ob eine Erdgas- oder eine Ölheizung für die Wärmegutschrift angenommen wird, wie Abbildung 8-13 f. belegen.

Daraus ist zu schlussfolgern, dass – soweit sich die vorläufigen Daten für Palmöl bestätigen – die biogene Stromerzeugung aus diesem Rohstoff wenig Emissionsminderung bei den THG und hohe Mehrbelastungen bei den Luftschadstoffen aufweist, die sich *nicht* durch die Wärmenutzung kompensieren lassen. Somit sollte überlegt werden, diese Stoffgruppe nur im Falle eines Nachweises einer günstigen Schadstoffbilanz im EEG zu belassen bzw. sie andernfalls aus der Vergütung des EEG auszuschließen.

8.2 Zündstrahl-BHKW für Biogas

Der in der BiomasseV geforderte Einsatz von regenerativem (d. h. biogenem) Zündöl bei Zündstrahl-BHKW stellt nach den Angaben in der *Handreichung Biogas* (/48/) kein besonderes Problem dar, denn die Neuanlagen decken einen größeren Leistungsbereich ($> 250 \text{ kW}_{\text{el}}$) ab, in dem vorwiegend Gas-Ottomotor-BHKW eingesetzt werden. Die Hersteller von Zündstrahlmotoren gehen davon aus, dass die Umstellung ab biogenes Öl ab 2007 erfolgen kann.

8.3 Humusreproduktion vergorener und unvergorener Substrate

In der Diskussion um Biogas aus Gülle bzw. (getrennt erfassten) organischen Hausmüllanteilen wird zunehmend auf die gegenüber der Kompostierung ungünstigere Humusbilanz hingewiesen. Unter Humus wird in diesem Zusammenhang die gesamte organische Bodensubstanz verstanden und nicht nur die umgewandelte, „unbelebte“ Bodenbiomasse.

Bei der Energienutzung von Biomasse liegt das Interesse auf dem Kohlenstoffgehalt der organischen Substanz. Durch die enge und komplexe Wechselbeziehung zwischen Pflanze und Boden beeinflusst die Erntemenge und Rückführung organischer Substanz gleichzeitig auch den Bodenumus. Eine nachhaltige Bioenergiewirtschaft muss daher das Augenmerk auf den gesamten Kohlenstoffkreislauf des Systems legen und den Bewirtschaftungsgrundsatz des Humuserhalts erfüllen.

In Biogasanlagen werden Exkremate aus der Tierhaltung und Kofermente (Energiepflanzen und organische Reststoffe) aber auch Bioabfall zu Biogas vergoren. Der organische Kohlenstoff wird dabei zu einem erheblichen Anteil in Methan und Kohlendioxid umgewandelt und wird somit nicht auf den Boden ausgebracht. Aus Sicht des Bodenschutzes sollten daher in Bezug auf den organischen Kohlenstoff¹⁰³ verschiedene Aspekte bei der Gewinnung von Biogas betrachtet werden:

- * Inwiefern beeinflusst die Vergärung von Wirtschaftsdüngern die Humusreproduktionsrate?
- * Hat eine Veränderung der Fruchtfolge hin zum Energiepflanzenanbau einen stärkeren Humusabbau zur Folge, der nicht durch die Rückführung der Gärreste kompensiert werden kann?

¹⁰³ Der Bodenschutz umfasst gleichrangig auch die optimale Nährstoffversorgung und Minimierung von Schadstofffrachten durch organische Dünger, doch sind diese nicht Gegenstand der folgenden Betrachtung.

Weiterhin bildet der Kompost aus organischen Abfällen derzeit externe Kohlenstoffquelle für Landwirtschaft und Gartenbau. Offen ist hier, ob die durch Fermentation von Bioabfällen entstehenden Gärreste ein anderes Humusreproduktionspotenzial aufweisen als Kompost. Daraus leitet sich die Frage ab, ob die Biogasgewinnung deutschlandweit oder regional das Risiko eines Verlusts organischer Bodensubstanz zur Folge hat. Im Rahmen dieser Kurzbetrachtung sollen Hinweise für die Beantwortung der Fragen gegeben werden – es handelt sich keinesfalls um eine abschließende Bewertung.

8.3.1 Die Rolle der organischen Substanz im Boden

Die organische Substanz im Boden beeinflusst direkt und indirekt nahezu alle Bodeneigenschaften (Speicherung von Nährstoffen und Wasser, Bodengefüge, Filter- und Puffervermögen, biologische Aktivität). Zu hohe Humusgehalte können jedoch auch zu unkontrollierter Mineralisation und damit zum Verlust von Nährstoffen führen. Ackerbaulich genutzte Böden sollten daher auf einen optimalen Humusgehalt eingestellt werden /182/. Der Erhalt des standort- und bewirtschaftungsspezifischen Humusgehalts des Bodens ist ein wesentlicher Grundsatz der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft. Ein anbaubedingter Humusverlust muss daher durch organische Düngung ausgeglichen werden (d. Erntereste, Wirtschaftsdünger, Kompost). Die Durchführung von Humusbilanzen (nach VDLUFA-Methode /181/) ist für die Kontrolle ein geeignetes Instrument; für dessen breite Anwendung wird derzeit eine Aufnahme in die Cross-Compliance-Regelungen der EU diskutiert wird. In die Bilanz fließen folgende Größen ein: die zugeführte Menge an organischer Substanz und der Humusbildungskoeffizient des zugeführten Materials auf der Inputseite und der Humusvorrat des Bodens und der Mineralisationskoeffizient des Bodenhumus auf der Outputseite.

8.3.2 Humusabbau und -neubildung

In Ackerböden hängt die Umsetzungsrate neben Klima und Bodeneigenschaften insbesondere von der Bewirtschaftungsweise ab (Fruchtfolge, mechanische Bodenbearbeitung, Dünger- und Pflanzenschutzmaßnahmen etc). Somit lassen sich anbauspezifische Veränderungen der Bodenhumusvorräte angeben (vgl. Abbildung 8-15). Der Anbau der klassischen Ackerkulturen ist dabei mit einem Humusverlust verbunden, der durch organische Düngung und andere Landbaumaßnahmen, wie dem Anbau von Zwischenfrüchten, durch Untersaaten und Gründungen kompensiert werden kann.

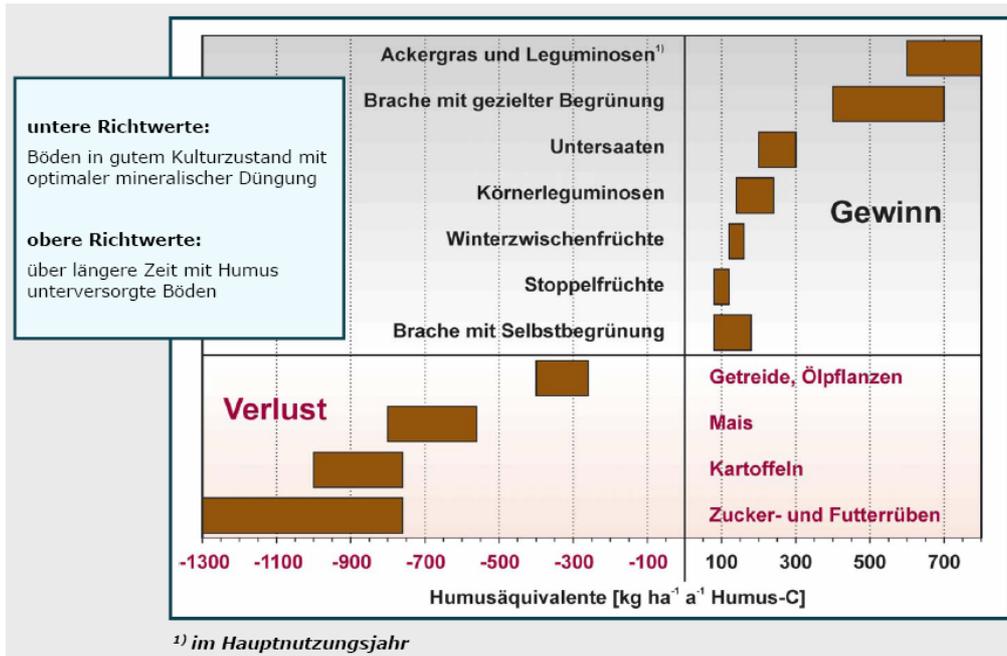


Abbildung 8-15: Anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte von Böden /184/

Für verschiedene organische Dünger liegen Daten zur spezifischen Humusreproduktionsleistung vor (Abbildung 8-16). Die Spannweite ergibt sich aus unterschiedlichen Trockensubstanzgehalten, weitere Faktoren sind stoffliche Zusammensetzung und Rottegrad der organischen Trockenmasse. Die organische Bodensubstanz liegt als leicht und schwer abbaubare Fraktionen vor, die von Bodenorganismen umgesetzt werden. Änderungen des Gehalts an organischer Substanz betreffen vorwiegend die leicht abbaubaren Fraktionen.

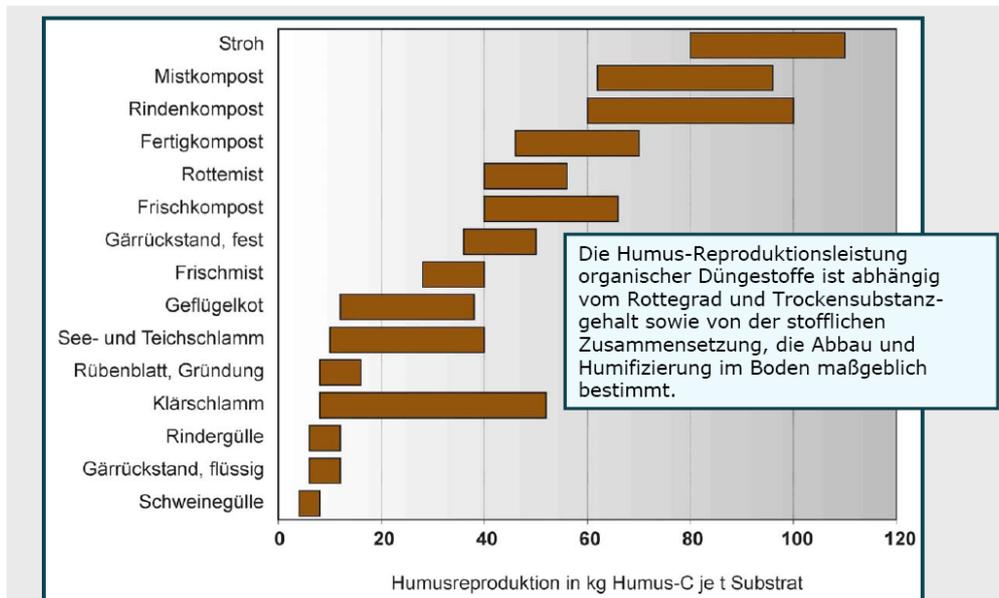


Abbildung 8-16: Humusreproduktionsleistung organischer Dünger /184/

8.3.3 Abbau durch anaerobe Vergärung

In der anaeroben Vergärung wird ein breites Spektrum an Verbindungen abgebaut (z.B. Proteine, Fette, nicht-zellulose Kohlenhydrate). Dagegen sind Lignin, Holz und holzige Rohfasern anaerob nicht abbaubar. Zellulose und Hemizellulose wird anaerob nur sehr schwer abgebaut /180/. Der Abbaugrad der einzelnen Fraktionen hängt von der Verweilzeit, Substratkonzentration und von der Temperatur ab.

8.3.4 Vergleich des Humusreproduktionspotenzials durch die Biogasgewinnung in der Landwirtschaft

Erfolgt die Biogasgewinnung in der Landwirtschaft ausschließlich mit betriebseigenen Substraten, so werden Wirtschaftsdünger (Mist und insbesondere Gülle) und eigens angebaut Energiepflanzen als Substrate in den Fermentern eingesetzt. Wie bereits oben beschrieben ist zu klären, inwiefern sich die Humusreproduktionsrate von vergorenen und unvergorenen Wirtschaftsdüngern unterscheidet und ob eine Veränderung der Fruchtfolge hin zu Energiepflanzenanbau einen stärkeren Humusabbau zur Folge hat. Einige Anhaltspunkte zu den Auswirkungen der Stoffflüsse werden in den folgenden Abschnitten gegeben.

Humusreproduktionspotenzials von vergorenen und unvergorenen Wirtschaftsdüngern

Wirtschaftsdünger fallen entweder in Form von Fest- oder Flüssigmist (auch Gülle) an. Unabhängig von der gewählten Behandlung werden sie schließlich zu Dünge Zwecken wieder auf die landwirtschaftliche Nutzfläche ausgebracht. Für die Abschätzung der Auswirkung auf den Humushaushalt ist daher ein Vergleich des Humusreproduktionspotenzials der verschiedenen Rest-Stoffströme ausreichend.

Flüssigmist

Das Humusreproduktionspotenzial unbehandelter Gülle hängt von deren Herkunft (Tierart) ab. Schweinegülle hat mit 4 bis 8 kg Humus-C je Tonne Substrat das geringste Potenzial. Rindergülle liegt bei 6 bis 12 kg Humus-C/t Substrat und Geflügelkot bei 12 bis 22 kg Humus-C/t Substrat /182/. Die Unterschiede resultieren aus den unterschiedlichen Gehalten organischer Trockensubstanz. Für vergorene Gülle ist in der Literatur kein expliziter Wert angegeben, allerdings findet sich in /182/ ein Humusreproduktionspotenzial von 6 kg Humus-C/t Substrat für flüssige Gärrückstände. Da sich diese Angaben auch auf Gärreste aus Biogasanlagen mit Kosubstraten beziehen können, gibt der Wert nur einen Anhaltspunkt. Doch wird deutlich, dass das Humusreproduktionspotenzial von behandelter Gülle nur unwesentlich geringer ist als das von unbehandelter. Im Vergleich mit anderen organischen Düngern sind die Werte für Gärreste und unvergorene Gülle in etwa gleich einzuschätzen (siehe Tabelle 8-9).

Tabelle 8-9: Humusreproduktionspotenzial verschiedener organischer Substrate /182/

| Substrat | Humusreproduktionspotenzial [kg Humus-C/t Substrat] |
|--------------------|--|
| Unbehandelte Gülle | Schwein: 4 bis 8 Rind: 6 bis 12 Geflügelkot: 12 bis 22 |
| Vergorene Gülle | 6 |
| Grünschnitt | 16 |
| Frischmist | 28 bis 40 |

Festmist

Das Humusreproduktionspotenzial von Frischmist liegt bei 28 bis 40 kg Humus-C/t Substrat und für Rottemist 25 bis 35 kg Humus-C/t Substrat /182/. Es wird angenommen, dass es sich bei den festen Gärresten um die abgepressten Reste einer Nassvergärung handelt, da Trockenfermentationsanlagen in der Landwirtschaft bisher wenig verbreitet sind. Auch für Festmist geben die Werte aus der Literatur zwar nur einen Anhaltspunkt, der jedoch verdeutlicht, dass das Humusreproduktionspotenzial von unbehandeltem Festmist und festen Gärückständen in einer vergleichbaren Größenordnung liegen (Tabelle 8-10).

Tabelle 8-10: Humusreproduktionspotenzial verschiedener organischer Substrate /182/

| Substrat | Humusreproduktionspotenzial [kg Humus-C/t Substrat] |
|------------------------------------|--|
| Frischmist | 28 bis 40 |
| Rottemist | 40 bis 56 |
| Feste Gärreste | 40 |
| Grünschnitt | 16 |
| Flüssige Gärreste (Rind & Schwein) | 4 bis 12 |

Einfluss des Energiepflanzenbaus auf die Humusproduktion

Seitdem mit der Novellierung des EEG der NaWaRo-Bonus für die ausschließliche Vergärung betriebseigener Substrate gewährt wird, ist der Einsatz von Energiepflanzen als Koferment sprunghaft angestiegen. Entsprechend kommt es auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche zu Verschiebungen im Anbaumix. Dabei ist die Humusbilanz von zwei Aspekten beeinflusst: welche Früchte ausgetauscht werden und in welchem Maße sich die Kohlenstoffrückführung durch Gärreste gegenüber der Rückführung von Ernteresten unterscheidet.

Derzeit wird überwiegend Mais als Substrat für Biogasanlagen eingesetzt. Werden Getreide oder Ölpflanzen durch Mais ersetzt, wird die Humusbilanz zunächst verschlechtert. Kommt es dagegen zum Ersatz von Hackfrüchten (Kartoffeln oder Zuckerrüben), tritt eine Verbesserung ein (vgl. Abbildung 8-15). Beim Einsatz von Grüngetreide für die Vergärung kommt es zu keiner Verschlechterung. Neben Getreide können beispielsweise auch Ölpflanzen,

verschiedene Zwischenfrüchte oder neue Kulturformen¹⁰⁴ als Substrate zur Biogasproduktion in Frage kommen, womit eine Verbesserung gegenüber den ersetzten Kulturen erzielt würde. Darüber hinaus können im Energiepflanzenbau genauso wie bei allen auch weiterhin Gründüngungen, Grünbrachen, Zwischenfrüchte und Untersaaten vorgenommen werden. Der ökonomische Druck zugunsten hoher Erträge ist bei „Energiewirt“ in gleicher Weise wie beim klassischen Landwirt vorhanden.

Eine pauschale Aussage zur Humuswirkung durch den Anbau von Energiepflanzen ist somit nicht möglich; aus derzeitiger Sicht lässt sich jedoch kein größeres Risiko des Humusabbaus durch Energiepflanzenanbau zur Biogaserzeugung feststellen.

Betrachtung von Betriebssystemen

Anhand von Humusbilanzen beispielhaften Betriebssysteme (Kombinationen verschiedener Tierhaltungsverfahren, Futterbasis und verschiedene Energiepflanzen) sollte der Frage nachgegangen werden, welchen Einfluss die einzelnen Parameter auf die Humusbilanz haben und auf welche Weise eine Humuserhaltende Bewirtschaftung realisiert werden kann.

8.3.5 Kompostierung

Der Humusreproduktionskoeffizient von Bioabfallkompost liegt je nach Reifegrad bei 30 bis 46 kg Humus-C/t Substrat /182/. Und auch Fuchs u. a. /178/ zeigen in einer Literaturstudie, dass in vielen Feldversuchen eine enge Korrelation zwischen der zugeführten Menge an organischer Substanz im Kompost und dem Anstieg der organischen Kohlenstoffgehalte im Boden beobachtet wurde.

Körschens u. a. (2005) /182/ geben für Gärrückstände-Kompost einen Humusreproduktionspotenzial von 46 kg Humus-C/tSubstrat an, das entspricht dem oberen Wert von Bioabfallkompost. Allerdings fehlt in der Quelle eine Darstellung des Prozesses für „Gärrückstände-Kompost“, so dass hier nur vermutet werden kann, dass es sich um eine Vergärung von Bioabfall mit anschließender Gärrestkompostierung handeln könnte. Ergänzend wird daher für den Vergleich des Humusreproduktionspotenzials von Kompost und Gärresten folgende grundsätzliche Überlegung angestellt: Bioabfälle sind in der Regel ein Gemisch aus Küchenabfällen und Gartenabfällen, wobei letztere insbesondere durch den Baum- und Strauchschnitt einen hohen Anteil an mittel- bis schwerabbaubaren Stoffen wie Lignin und Cellulose aufweisen. Diese Anteile tragen in wesentlichem Maße zum hohen Humusreproduktionspotenzial von Kompost bei /178/. Gleichzeitig sind diese Stoffe anaerob nicht oder nur sehr schlecht zu vergären. Küchenabfälle können dagegen gut vergoren werden, da sie über höhere Anteile leicht abbaubarer Biomasse verfügen. Die Vergärung ersetzt somit lediglich die Vor- und zum Teil die Haupttrotte der Kompostierung /179/.

Fazit: Das Humusreproduktionspotenzial hängt in erheblichem Maße vom Anteil schwer abbaubarer Substanzen ab. Diese werden bei der Kompostierung als so genanntes

¹⁰⁴ Beispielsweise Zweikulturnutzung (zwei Ernten pro Jahr) und Mischkulturen (gleichzeitig mehr als eine Pflanzenart auf dem Feld)

Strukturmaterial eingesetzt, bei der Vergärung jedoch abgetrennt und unter Umständen thermisch verwertet. Gegenwärtig bestehen jedoch noch deutliche technische Restriktionen bei der Verbrennung von Grünabfällen, so dass der Verlust des Humusreproduktionspotenzials eher ein mittelfristiges Problem darstellen könnte. Es sollte bei der Vergärung daher immer angestrebt werden, die ligninhaltigen Bestandteile des Grünabfalls mit zu vergären oder parallel zu kompostieren und dem Gärückstand wieder zuzuführen, auch wenn der dabei erreichte biologische Abbau eher gering sein dürfte.

8.3.6 Übergeordnete Stoffstrombetrachtung

Um den deutschlandweiten oder regionalen Bedarf an einem überbetrieblichen Humusausgleich quantitativ zu erfassen, sind umfangreichere Stoffstromanalysen notwendig.

Über die hier kurz analysierte Humusproblematik hinaus ist darauf hinzuweisen, dass Biogas auf NawaRo-Basis weitgehend geschlossene Stickstoff- und Nährstoffkreisläufe erlaubt und damit eine günstigere Bilanz gegenüber dem Weg der Vergasung von Anbaubiomassen und Stoffrückführung per Ascherecycling. Die geringeren Energieaufwände für die Düngerherstellung im Biogas-Fall kompensieren zudem fast die bei Biogas gegenüber Vergasung geringeren Nettonutzungsgrade.

8.4 Zusammenfassung

Wie die Analyse der bestehenden Umweltstandards mittels GEMIS gezeigt hat, sind selbige erfolgreich im Hinblick auf:

- * die Nutzung von Altholz: Bestehende Nutzungsstruktur durch günstige Umwelteffekte gekennzeichnet, auch wenn die Wärmenutzung weiter verbessert werden könnte; insgesamt ist jedoch kein weiterer nennenswerter Zubau zu erwarten.
- * die Aktivierung von Biogas: Die Einsparungen an Treibhausgasen und z. T. Luftschadstoffen sind beachtlich, und den Einsatz von biogenen Brennstoffen als Zündöl dürfte fristgerecht erwartet werden.

Die Umweltmindeststandards könnten jedoch erweitert werden hinsichtlich der Gesamtwirkungsgrade (d. h. Berücksichtigung elektrischer und thermischer Effizienzen bei der KWK-Produktion) für Festbrennstoffe im kleineren Leistungsbereich und Pflanzenöl (z. B. Pflanzenöl nur mit mind. 50 % Wärmenutzung, bei Palmöl mind. 75 %). Demgegenüber stellen sich Biogasanlagen – weitgehend unabhängig von der Herkunft des Substrats – emissionsseitig günstig dar.

Die angesprochene Problematik des Humusreproduktionspotenzials lässt sich nicht ohne weiteres in einen Umweltstandard übersetzen – hier wären die beschriebenen Umwelteffekte der Vergärung detaillierter zu untersuchen und quantitativ abzuschätzen, was jedoch im Rahmen dieses Projektes nicht möglich war.

Im Rahmen des EEG-Monitoring ist außerdem zu prüfen, ob und wie die KWK-Vergütung grundsätzlich an eine ausreichende Ressourceneffizienz gekoppelt werden kann, sowie welche Mindestumweltstandards beim Anbau von Energiepflanzen zur Stromerzeugung (z. B. Silagemais, 2-Kulturen-Systeme) sinnvoll sind.

9 Schlussfolgerungen

Aus den Zusammenfassungen für die innerhalb dieses Monitoringprojektes zur BiomasseV betrachteten Themenschwerpunkte resultieren die folgenden Schlussfolgerungen.

Die Fortschreibung des **Anlagenbestandes** zeigt, dass sich die Stromerzeugung aus Biomasse seit Inkrafttreten des EEG im Jahr 2000 und durch dessen Novellierung im Jahr 2004 verbunden den zusätzlichen Anreizen (insbesondere NawaRo- und KWK-Boni) mehr als verfünffacht hat. Bioenergieanlagen zur Stromerzeugung werden in allen Leistungsbereichen bis 20 MW_{el} betrieben. Als Anlagenbetreiber treten je nach Anlagentyp und Leistungsklasse vor allem kleine bis mittelständische Unternehmen sowie einzelne Großunternehmen (z. B. E.on, RWE), aber auch Privatpersonen auf. Insgesamt sind derzeit (Stand Ende 2006) etwa 5.250 Biomasseanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von ca. 2.330 MW_{el} in Betrieb. Nach wie vor mit Abstand den größten Beitrag zur biogenen Stromerzeugung Biomasse leisten Biomasse(heiz)kraftwerke, wenngleich sich der Anteil zugunsten der Biogasanlagen und Pflanzenöl-BHKW verschoben hat. Der Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung betrug 2006 etwa 207 PJ/a, wobei biogene Festbrennstoffe einen Anteil von etwa 55 % ausmachen. Heute werden potenziell etwa 17 TWh_{el}/a biogener Strom erzeugt, was einem Anteil von etwa 3 % der gesamten Nettostromerzeugung in entspricht. Durch den Einsatz von Biomasse zur Stromerzeugung konnten im Jahr 2006 etwa 8,7 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente eingespart werden. Die zusätzliche Vermeidung durch Wärme aus KWK-Bioenergieanlagen kann für das Jahr 2006 mit ca. 9,8 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten abgeschätzt werden. Zukünftig werden Biomasse(heiz)kraftwerke nur noch auf Basis von Industrierestholz (A I/A II-Hölzern) und/oder Waldrestholz gebaut. Bei Biogasanlagen wird sich der Trend zu größeren Anlagenleistungen fortsetzen, wobei sich bezüglich des Substrats ein verstärkter Einsatz nachwachsender Rohstoffe abzeichnet. Die weitere Marktentwicklung ist jedoch aufgrund der großen Abhängigkeit von der Entwicklung der Rohstoffpreise schwer prognostizierbar, unter der Annahme gleich bleibender Rohstoffpreise ist mittelfristig ein jährliches Wachstum der installierten Kapazität von über 100 MW_{el} möglich.

Die Verstromung von **Altholz** war in den letzten Jahren durch einen starken Anlagenzubau gekennzeichnet, die insbesondere durch die Nutzung von A III- und A IV-Hölzern getragen wurde, so dass heute die Stoffströme weitgehend verwendet werden. Der Altholzbedarf für den energetischen Einsatz hat sich wesentlich erhöht, was sich ebenfalls in der Preisentwicklung der letzten Jahre widerspiegelt. Altholz(heiz)kraftwerke 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. Infolge der EEG-Novellierung ist künftig nur noch die Verstromung von A I/ A II-Hölzern bei preisgünstigem Brennstoffbezug und umfassender Wärmenutzung gegeben. Damit sind neue Altholz(heiz)kraftwerke zukünftig v. a. im Bereich der Holzverarbeitenden Industrie zu erwarten.

Für **tierischer Nebenprodukte** (d. h. Produkte der Tierkörperverwertung) haben sich nach Inkrafttreten des Verfütterungsverbotsgesetz im Jahr 2000 sowie der EU-Hygieneverordnung im Jahr 2003 geeignete Absatzwege (zu jeweils etwa 50 % stoffliche Nutzung und energetische Verwertung) durchgesetzt und eine weitgehend stabile Nachfrage- und Abnehmerstruktur etabliert. Die Abschätzung wirtschaftlicher und klimarelevanter Aspekte hat deutlich gemacht, dass ein Bedarf hinsichtlich einer zusätzlichen Förderung der energetischen Verwertung von tierischen Nebenprodukten zur Stromzeugung nicht gegeben ist. Unter den zugrunde gelegten Rahmenbedingungen (Jahr 2005) lässt sich ein wirtschaftlicher Betrieb von Bioenergieanlagen erzielen, speziell im Fall der energetischen Verwertung von tierischen Nebenprodukten in Biogasanlagen. Weiterhin hat die Etablierung von Tiermehl und -fett als Energieträgersubstitut fossiler Brennstoffe (d. h. Kohle) in der Zufeuerung einen deutlichen Beitrag zur Senkung der treibhausgasrelevanten Emissionen geleistet. Mit der 1. Verordnung zur Änderung der BiomasseV 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 (mit Ausnahme von Gülle, Magen- und Darminhalt und Kolostrum) sind dagegen auch weiterhin nicht als Biomasse im Sinne der BiomasseV anerkannt.

Bioabfälle werden infolge der abfallkreislaufwirtschaftlichen Rahmenbedingungen von KrWAbG und AbfAbIV/TASi weitgehend getrennt erfasst und v. a. zu Komposten für die Landwirtschaft verwertet. Etwa 19 % werden dabei in Vergärungsanlagen zur Stromzeugung eingesetzt, verbunden mit tendenziell höheren Behandlungskosten gegenüber der Kompostierung. Ein wirtschaftlicher Betrieb im Kontext des EEG lässt sich meist nicht darstellen. Eine weitere Verlagerung der Stoffströme zur Vergärung sollte nur unter Beachtung des Bestandsschutzes der Kompostieranlagen wie auch der näheren Kenntnis der Effekte auf den Humushaushalt forciert werden. Die Mitbehandlung von Bioabfällen als Co-Substrat in landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen ist infolge des gewährten NawaRo-Bonus rückläufig, da diese Anlagen verstärkt auf reinen NawaRo-Betrieb umstellen. Prinzipiell 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.

Die Betrachtung der mit der BiomasseV verbundenen **Umweltanforderungen** zeigt, dass für die Stromerzeugung aus Biomasse die bestehenden Umweltstandards im Hinblick auf die Nutzung von Altholz und die Aktivierung von Biogas erfolgreich umgesetzt werden konnten. Die Einsparungen an Treibhausgasen und z. T. Luftschadstoffen sind beachtlich; anders hingegen beim Einsatz von Pflanzenölen. Es wird empfohlen, die Umweltmindeststandards hinsichtlich der Gesamtwirkungsgrade (Strom und Wärme) für Festbrennstoffe im kleineren Leistungsbereich (z. B. ORC) und Pflanzenöl (z. B. Vorgabe der Wärmenutzung) zu erweitern. Die Problematik des Humusreproduktionspotenzials lässt sich nicht ohne weitere detaillierte Untersuchungen in einen Umweltstandard übersetzen.



Zusammenfassend kann geschlossen werden, dass für die im Rahmen dieses Monitoringprojektes betrachteten biogenen Reststoffe und Nebenprodukte (d. h. Altholz, tierische Nebenprodukte und Bioabfälle) geordnete Verwertungswege etabliert sind und weitgehend ausgewogene Nachfrage- und Abnehmerstrukturen bestehen, wobei im Sinne des Verursacherprinzips die Kostenverantwortlichkeit zumindest teilweise beim Abfallproduzenten verblieben ist. Eine weitergehende Einbindung dieser Stoffströme in die Stromerzeugung aus Biomasse durch zusätzliche Anreize wird – auch vor dem Hintergrund der jeweiligen Nutzungskonkurrenzen zwischen stofflicher und energetischer Verwertung – als wenig folgerichtig erachtet. Dies gilt insbesondere für Bioabfälle; hier ist beispielsweise eine Marktabtastung der thermischen Nutzung von Grünabfällen in nennenswertem Umfang nicht sinnvoll.

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/ Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung; Zwischenbericht, Leipzig, Februar 2006
- /7/ 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
- /8/ 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
- /9/ 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
- /10/ 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
- /11/ 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
- /12/ Verband der Fleischmehlindustrie e.V. (2004): von der Homepage zu entnehmende Informationen, URL: www.fleischmehlindustrie.de (Zugriff: November 2004)
- /13/ Verband der Fleischmehlindustrie e.V. (2004/2005): persönliche Mitteilungen, November 2004 bis Mai 2005
- /14/ STN - Servicegesellschaft Tierische Nebenprodukte mbH (2006): von der Homepage zu entnehmende Informationen, URL: <http://www.stn-vvtn.de/> (Zugriff: November 2006)
- /15/ Foodwatch e.V. (2004): Alles außer Kontrolle – Sicherheitslücken der Tiermehlverwertung in Zeiten von BSE. Tiermehl-Report, Oktober, 2004
- /16/ 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

- /17/ 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
- /18/ 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
- /19/ Landtag Nordrhein-Westfalen (2004): Ausführungsgesetz zum Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (AGTierNebG NRW). Gesetzentwurf der Landesregierung, Drucksache 13/5930, Düsseldorf, September 2004
- /20/ SARIA Bio-Industries (2004): persönliche Mitteilung
- /21/ SARIA Bio-Industries (2004): SARIA Bio-Industries in Zahlen. von der Homepage zu entnehmende Informationen, URL: www.saria.de (Zugriff: März 2005)
- /22/ SARIA Bio-Industries (2005): Saria news. Ausgabe 02 f./2005, Selm, 2005
- /23/ SÜPRO Süd Hessische Protein- und Tierfettfabrikation GmbH (2004/2005): persönliche Mitteilung
- /24/ Befragung von Verarbeitungsbetrieben tierischer Nebenprodukte im Zeitraum von November 2004 bis Januar 2005
- /25/ Sächsische Tierseuchenkasse (2004): persönliche Mitteilung
- /26/ Untere Veterinärbehörde Leipzig (2004): persönliche Mitteilung
- /27/ Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2004): persönliche Mitteilung
- /28/ Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2005): Liste der Verbrennungsanlagen in Deutschland. Stand 13. April 2005
- /29/ Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2004): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2004. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2004
- /30/ 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
- /31/ 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
- /32/ HeidelbergCement (2005): persönliche Mitteilung
- /33/ Verein Deutscher Zementwerke (2003): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2002. VDZ Verein Deutscher Zementwerke e. V., Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf, Dezember 2003
- /34/ Statistisches Landesamt Berlin (2005): persönliche Mitteilung
- /35/ Statistisches Landesamt Bayern (2005): persönliche Mitteilung
- /36/ Statistisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern (2005): persönliche Mitteilung
- /37/ Foodwatch e.V. (2005): Lug und Trog - Der foodwatch-Report über billige Futtermittel, die uns teuer zu stehen kommen. Futtermittel-Report, April, 2005

- /38/ 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>
- /39/ ZTS-Betriebe Plattling-Rötz (2005): Gebührensatzung 2005
- /40/ 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
- /41/ 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
- /42/ 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
- /43/ 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
- /44/ Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft (2005): persönliche Mitteilung
- /45/ Biogasfachverband (2005): persönliche Mitteilung
- /46/ Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (2005): persönliche Mitteilung
- /47/ Sächsisches Staatsministerium für Soziales, Ref.24 Allgemeine Angelegenheiten des Veterinärwesens, Tierseuchenbekämpfung, Tierschutz (2005): persönliche Mitteilung
- /48/ 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
- /49/ ISO 14040 (1997) Umweltmanagement – Produkt-Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen.
- /50/ ISO 14041 (1998): Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz.
- /51/ ISO 14042 (1998): Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung (Entwurf).
- /52/ ISO 14043 (1998): Umweltmanagement – Ökobilanz – Auswertung (Entwurf).
- /53/ IPCC (2001): Intergovernmental Panel of Climate Change: WGI Third Assessment Report. 2001
- /54/ IPCC (2001): Intergovernmental Panel of Climate Change: IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.
- /55/ Bayerischer 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
- /56/ Mantau, U.: Holzrohstoffbilanz Deutschland – Bestandsaufnahme 2002. Hamburg 2004
- /57/ 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

- /58/ 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
- /59/ Umweltbundesamt: Statistiken und Grafiken zur Siedlungsabfallentsorgung 2005. http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/statistiken_zu_abfallwirtschaft/doc/5886.php
- /60/ GROW GmbH - Group Recycling of Wood (2005), persönliche Mitteilung
- /61/ Öko-Institut e.V.: Stoffstromprojekt zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Freiburg. 2004
- /62/ Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2005): persönliche Mitteilung
- /63/ Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter e.V. (2005), persönliche Mitteilung, 2005
- /64/ Lang, A.: Charakterisierung des Altholzaufkommens in Deutschland. Rechtliche Rahmenbedingungen, Mengenpotenzial, Materialkennwerte Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg ; Nr. 215, Hamburg, 2004
- /65/ Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: Wärmegewinnung aus Biomasse. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Leipzig, 2004
- /66/ Rheinbraun Brennstoff GmbH: Jährliche Haushaltsbefragung zur Festbrennstoffsituation in Deutschland (www.heizprofi.com) 2003 und frühere Jahrgänge
- /67/ 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.
- /68/ <http://www.rwe.de/generator.aspx/language=de/id=151966/rwe-power.html>. Zugriffsdatum: 11.10.2005
- /69/ Standwerke Flensburg: Was ist KWKplus? <http://www.kwkplus.de/index.php?menuID=9>. Zugriffsdatum: 11.10.2005
- /70/ Umweltbundesamt: Einsatzmengen in thermischen Verwertungsanlagen. URL: www.umweltbundesamt.de Zugriffsdatum: 11.10.2005
- /71/ Verein Deutscher Zementwerke e. V. (VdZ): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie – Jahrgänge 1999 bis 2005. www.vdz-online.de. Zugriffsdatum: 10.11.2006
- /72/ Statistisches Bundesamt (2005), persönliche Mitteilung
- /73/ Umweltbundesamt: Außenhandel mit nicht notifizierungspflichtigen Abfällen 1991 – 2005, Anlaufstelle Basler Übereinkommen, Statistisches Bundesamt – Fachserie 7, August 2006
- /74/ Umweltbundesamt: Grenzüberschreitende Verbringung von genehmigungspflichtigen Abfällen, Anlaufstelle Basler Übereinkommen, Statistisches Bundesamt – Fachserie 7, August 2006
- /75/ INTERWOOD GMBH: www.interwood-gmbh.de. Zugriffsdatum: 05.10.2005
- /76/ http://www.alba-online.de/pub/jsp/b_frame.jsp?sitemap_id=10082&lang=de/ Zugriffsdatum: 05.10.2005
- /77/ REMONDIS AG & CO. KG: www.remondis.de/f_set.php/. Zugriffsdatum: 05.10.2005
- /78/ INTERSEROH AG: Geschäftsberichte 2002, 2003 und 2004. www.interseroh.de, Zugriffsdatum 05.10.2005
- /79/ 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
- /80/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 5/2004

- /81/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 19/2005
- /82/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 31/2004
- /83/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung vom 03.11.2004 Nr. 45/2004
- /84/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 6/2005
- /85/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 32/2006
- /86/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Marktbericht für Altholz; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 31/2005
- /87/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: o.V.: Notiert; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 47/2005
- /88/ Energietechnik Leipzig (2005), persönliche Mitteilung
- /89/ Fichtner GmbH & Co. KG (2005), persönliche Mitteilung
- /90/ www.umweltfondsvergleich.de/fp/archiv/fondsportraits/biomassekraftwerksilbitz.php.
Zugriffsdatum 02.11.2005
- /91/ www.visavis.de/modules.php?name=News&file=article&sid=4161. Zugriffsdatum 02.11.2005
- /92/ Fichtner GmbH & Co. KG: Markt- und Kostenentwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Gut achten im Auftrag der Bundesinitiative BioEnergie (BBE), Stuttgart, April 2002
- /93/ 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
- /94/ VGB Power Tech (2005), Persönliche Mitteilung
- /95/ o.V. Übergangsmanagement: Zukunft für Feldberger Biomasse-Heizkraftwerk gegeben. <http://www.mecklenburg-strelitz.de/scripts/news.view.asp?NewsID=1673953246>.
Zugriffsdatum 05.11.2005
- /96/ BMU: Erneuerbare Energien Ausbau Gesetz –Begründung. <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/5982/4596/>. Zugriffsdatum 02.11.2005
- /97/ o.V. Gute Exportkonjunktur bringt Holzwerkstoffproduktion in Schwung: <http://www.vhi.de/VHI-Aktuelles.cfm> /. Zugriffsdatum 09.11.2005
- /98/ Jung, G., Restmüll-/LVP-Versuche in Rheinland-Pfalz – Perspektiven für die Abfallwirtschaft, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /99/ Vogt, R., et.al., Ökobilanz Bioabfallverwertung, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2002
- /100/ BMU, Vorschlag zur Überarbeitung Anhang 1 BioAbfV, Stand 03.09.2004
- /101/ Auskunft Herr Dreyer, BMU vom 02.02.2007
- /102/ ITAD Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland, Statuspapier, August 2002
- /103/ 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

- /104/ Gassner, Groth, Siederer, Studie zur Anwendbarkeit des EEG bei Verstromung von Biogas aus der Vergärung von MBA-Abfällen, im Auftrag der ASA Arbeitsgemeinschaft stoffspezifische Abfallbehandlung e.V., Oktober 2004
- /105/ 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
- /106/ Baake, R., Abfallwirtschaft bietet großes Potenzial für Klimaschutz, Pressemitteilung BMU, September 2005
- /107/ Öko-Institut, Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale, Umweltbundesamt Forschungsbericht 205 33 314, August 2005
- /108/ Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall), Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993
- /109/ Europäische Kommission GD ENV.A.2, Arbeitspapier „Die biologische Behandlung von Bioabfällen“, zweiter Entwurf, Februar 2001
- /110/ www.bgkev.de/news
- /111/ Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagerungsverordnung – AbfAbIV), vom 20. Februar 2001
- /112/ Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV), vom 19. Juni 2002
- /113/ Bericht der LAGA zur 63. Umweltministerkonferenz, Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung, 3. Fortschreibung, August 2004
- /114/ BMU, BMVEL, Gute Qualität und sichere Erträge, wie sichern wir die langfristige Nutzbarkeit unserer landwirtschaftlichen Böden ?, Berlin, Juni 2002
- /115/ Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 16. Juli 1999
- /116/ Bergs, C., Grenzwertkonzept der Bundesregierung, Tagungsband 63. Informationsgespräch des ANS e.V., Berlin, 2002
- /117/ Kranert, M., Grenzen der Grenzwerte bei Klärschlamm und Kompost, Tagungsband 63. Informationsgespräch des ANS e.V., Berlin, 2002
- /118/ persönliche Auskunft, Dr. B. Kehres, Bundesgütegemeinschaft Kompost, Juli 2005
- /119/ 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
- /120/ pers. Auskunft Herr Dreyer, BMU vom 04.10.2005
- /121/ Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002
- /122/ Freund, E., Genehmigungsrechtliche Anforderungen und Ermessensspielräume zu Nachrüstungen für Kompostierungsanlagen nach TA Luft, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /123/ ifeu, Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland, Teilbericht Siedlungsabfälle, UFO-Plan-Vorhaben, FKZ 203 92 309, April 2005
- /124/ Abfallbilanzen der Bundesländer, 2001-2003
- /125/ Statistisches Bundesamt, Fachserie 19/Reihe 1, Umwelt, Abfallentsorgung, 2001-2003
- /126/ 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

- /127/ Kern, M., Sprick, W., Abschätzung des Potenzials an regenerativen Energieträgern im Restmüll, in: Bio- und Restabfallbehandlung V, Witzenhausen - Institut, 2001
- /128/ Fricke, K. et. al., Bundesweite Umfrage zur Optimierung der Bioabfallsammlung, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2000
- /129/ Vogt et. al., Ökobilanz Bioabfallverwertung, Erich Schmidt Verlag, 2002
- /130/ Fricke, K., Turk, T. Vogtmann, H., Grundlagen zur Kompostierung von Bioabfällen, Ingenieurgesellschaft Witzenhausen, Kassel, 1989
- /131/ Fischer, P., Kompostierung von Grünrückständen aus Garten und Parks, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1988
- /132/ Kern, M., Kompostanlagen in der Bundesrepublik Deutschland, in: Müll – Handbuch, Erich Schmidt Verlag, MuA, Lfg. 2/00
- /133/ Kern, M., Vergärungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland, in: Müll – Handbuch, Erich Schmidt Verlag, MuA, Lfg. 2/00
- /134/ Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. Verzeichnis der Kompostierungs- und Vergärungsanlagen in Deutschland, Stand November 2004
- /135/ Leible, L., et. al., Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen, Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6882, 2003
- /136/ Kehres, B., Perspektiven der stofflichen Verwertung von Bioabfällen in Deutschland, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /137/ Dach, J., Warnstedt, A., Aufbereitung von Bioabfällen für die Verwertung in Biomassekraftwerken, in: Bio- und Restabfallbehandlung VIII, Witzenhausen-Institut, 2004
- /138/ Pretz, T., et. al., Brennstoffgewinnung aus Kompostrohstoffen?, Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V., EdDE Dokumentation 8, März 2005
- /139/ 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
- /140/ 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
- /141/ EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Preise und Gebühren der Abfallbehandlung in MVA und MBA Oktober/November 2006; in: Recycling und Entsorgung, Nr. 50/2006)
- /142/ Dube, J., Integration einer Vergärungsanlage in eine Kompostierungsanlage zur Verarbeitung von Bioabfällen, in Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /143/ 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
- /144/ Siedlungsabfallentsorgung 2005, BMU, Stand 01.Juni 2005
- /145/ Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Bericht der LAGA zur 63. Umweltministerkonferenz „Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung“, Stand 31. August 2004
- /146/ Kehres, B., persönliche Auskunft am 20.07.05
- /147/ Kehres, B., persönliche Auskunft 20.07.05, INFA-Studie (2004)
- /148/ Kirsch, A., Einsatz kompostierter Gärreste in der Landwirtschaft, Inaugural-Dissertation, Universität Bonn, Kirsch Verlag, 2002
- /149/ StBA in <http://www.bgkev.de/infodienste/artikel.htm>

- /150/ BGK e.V. Gute fachliche Praxis der Humusdüngung im Ackerbau in: <http://www.bgkev.de/infodienste/artikel.htm>
- /151/ StBA, reichweite des Kompostaufkommens im Sinne der Humusbilanzierung, in: <http://www.bgkev.de/infodienste/artikel.htm>
- /152/ 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>
- /153/ BGK e.V., Ausgleich von Humusverlusten in Ackerböden, in: <http://www.bgkev.de/infodienste/artikel.htm>
- /154/ Kern, M., Raussen, T., Chancen und Perspektiven zur Nutzung von biogenen Abfallströmen nach EEG, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /155/ WWF, Hintergrundinformation, März 2005
- /156/ Fricke, K., et al., Die Bioabfallsammlung und -kompostierung in der Bundesrepublik Deutschland – Situationsanalyse 1991, Schriftenreihe des ANS 20, Wiesbaden, 1991
- /157/ Kehres, B., Vermeidungspotenzial von Schwermetallen im Kompost ist praktisch ausgeschöpft, in: Humuswirtschaft & Kompost, 2003
- /158/ Riedel, H., et al., Gehalte von Schwermetallen und organischen Schadstoffen in Bioabfall- und Grüngutkomposten, Müll und Abfall, März 2005
- /159/ Fricke, K., et al., Die Getrenntsammlung und Verwertung von Bioabfällen – Bestandsaufnahme 2003, in: „Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen“, Schriftenreihe des ANS 44, 2003
- /160/ Kern, M., Raussen, T., Chancen und Perspektiven zur Nutzung von biogenen Abfallströmen nach EEG, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /161/ Pretz, T., et. al., Brennstoffgewinnung aus Kompostrohstoffen?, Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V., EdDE Dokumentation 8, März 2005
- /162/ Kehres, B., Perspektiven der stofflichen Verwertung von Bioabfällen in Deutschland, in: Bio- und Restabfallbehandlung IX, Witzenhausen-Institut, 2005
- /163/ BGK e.V., persönliche Auskunft Dr. Kehres, 20.07.2005
- /164/ Kaimer, M., Schade, D., Zukunftsfähige Hausmüllentsorgung, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2002
- /165/ BMU: Siedlungsabfallentsorgung 2005, BMU, Juni 2005
- /166/ BMU: Pressemitteilungen, Kapazitäten für Hausmüllentsorgung reichen aus, Juli 2005
- /167/ 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
- /168/ Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW): Nettostromerzeugung in Deutschland 2004; unter <http://www.strom.de> (Zugriff: 03.02.2006)
- /169/ 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
Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: Monitoring zur Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) aus Umweltsicht; Endbericht, Leipzig, Dezember 2003
- /170/ 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
- /171/ AG Energiebilanzen: Stromerzeugung nach Energieträgern von 1990 bis 2005 (in TWh) Deutschland insgesamt (Stand 09/2006), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; Verband der Elektrizitätswirtschaft - VDEW - e.V.; Statistik der Kohlenwirtschaft e.V.; Berechnungen des DIW Berlin
- /172/ AG Energiebilanzen: persönliche Mitteilung, Juni 2006
- /173/ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Energieversorgung für Deutschland – Statusbericht für den Energiegipfel am 3. April 2006, Berlin, 2006
- /174/ Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: eigene Berechnungen
- /175/ Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW): Nettostromerzeugung in Deutschland 2005; unter <http://www.strom.de> (Zugriff: Februar 2007)
- /176/ Fritsche, Uwe R. u.a. 2004: Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse; Öko-Institut (Projektleitung) in Kooperation mit FhI-UMSICHT (Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, Oberhausen), IE (Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig), IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg), IZES (Institut für ZukunftsEnergieSysteme, Saarbrücken), TU Braunschweig (Institut für Geoökologie/Abt. Umweltsystemanalyse), TU München (Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues); Endbericht zum Verbundforschungsvorhaben, gefördert vom BMU, Darmstadt usw. www.oeko.de/service/bio
- /177/ IE (Institut für Energetik und Umwelt Leipzig)/BFH (Bundesanstalt für Holzforschung)/ÖKO (Öko-Institut - Institut für angewandte Ökologie e.V.) UH (Universität Hohenheim) 2005: Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext: Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern, gefördert vom BMU, siehe www.ie-leipzig.de/Biomassenutzung/Biomasse.htm
- /178/ Fuchs, J. G. et al. (Hrsg.) (2004): Auswirkungen von Komposten und Gärgut auf die Umwelt, die Bodenfruchtbarkeit sowie die Pflanzengesundheit. Zusammenfassende Übersicht der aktuellen Literatur. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, FiBL-Report, Frick, Schweiz. <http://www.orgprints.org/2631>
- /179/ Hupe et.al. (2004): Biologische Bioabfallverwertung: Kompostierung kontra Vergärung. Hamburg, Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft (IFAS). www.ifas-hamburg.de
- /180/ Kaltschmitt, M./Hartmann, H. (Hrsg.) 2001: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin, Springer-Verlag
- /181/ Körschens, M. u.a. 2004: Humusbilanzierung: Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland (VDLUFA-Standpunkte). VDLUFA, Bonn.
- /182/ Körschens, M. u.a. 2005: Bilanzierung und Richtwerte organischer Bodensubstanz. Landbauforschung Völkenrode 55(05)1. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig <http://www.pb.fal.de/en/library/publications/pb-1900/pb1847.pdf>
- /183/ ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2006: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme Version 4.4 pre-release, Uwe R. Fritsche u.a., Darmstadt
- /184/ Rogasik, J./Körschens, M 2005: Humusbilanz und Humusbilanz und Maßnahmen nahmen für optimale Humusgehalte. Präsentation im Rahmen des Informationstags Humus am 24.11.2005. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig. <http://www.pb.fal.de/N%C3%A4hrstofftage/humustag/humus-rogasik-j.pdf>
- /185/ SWU (Stadtwerke Ulm) 2006: pers. Mitteilung von Dr. Jörg Entress, Leiter Energietechnische Grundsatzfragen, vom 12.5.2006



- /186/ Berechnungen des Öko-Instituts mit GEMIS 4.4 (aktualisierte Version, Februar 2007), vgl. URL: www.gemis.de
- /187/ UBA (Umweltbundesamt) 2006: Zentrales System Emissionen; interne Datenbank des UBA, Dessau
- /188/ UBA (Umweltbundesamt): ProBas-Website URL: www.probas.umweltbundesamt.de
- /189/ BMU: Umweltpolitik - Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Internet-Update, Stand: Januar 2007
- /190/ Verordnung zur Durchführung des Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes (TierNebV) vom 27. Juli 2006, BGBl I 2006, S. 1735
- /191/ Pressemitteilungen BMU, Nr. 015/07, Berlin, 16.01.2007, Umweltministerium sieht Einsatz von Palmöl zur Stromerzeugung mit großer Skepsis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1-1: Übersicht der Projektinhalte | 1 |
| Abbildung 1-2: Generelle Herangehensweise..... | 2 |
| Abbildung 2-1: Anlagenbestand aller in Betrieb befindlichen Biomasse(heiz)kraftwerke | 5 |
| Abbildung 2-2: Standort, Leistungs- und Brennstoffklasse von Biomasse(heiz)kraftwerken in Deutschland | 6 |
| Abbildung 2-3: Installierte elektrische Leistung der Biomasse(heiz)kraftwerke aller in Betrieb befindlichen Anlagen | 7 |
| Abbildung 2-4: Anteil der Bundesländer am Anlagenbestand und an der installierten elektrischen Leistung der Biomasse(heiz)kraftwerke | 8 |
| Abbildung 2-5: Potenzielle Stromerzeugung aller in Betrieb befindlichen Biomasse(heiz)kraftwerke in Deutschland..... | 9 |
| Abbildung 2-6: Aktueller Brennstoffeinsatz der derzeit in Betrieb befindlichen Biomasse(heiz)kraftwerke (Stand November 2006) | 10 |
| Abbildung 2-7: Anlagenbestand der Pflanzenöl-BHKW für 2003 (inkl. RME-BHKW) und 2006 (Stand der Datenerhebung im Januar 2007) | 11 |
| Abbildung 2-8: Installierte elektrische Leistung Pflanzenöl-BHKW für 2003 (inkl. RME-BHKW) und 2006 (Stand der Datenerhebung im Januar 2007)..... | 12 |
| Abbildung 2-9: Potenzielle Stromerzeugung Pflanzenöl-BHKW für 2003 (inkl. RME-BHKW) und 2006 (Stand der Datenerhebung im Januar 2007) | 13 |
| Abbildung 2-10: Anlagenbestand der Biogasanlagen (Stand Dezember 2006; *Leistungsklassen gegenwärtig noch nicht abschätzbar) | 14 |
| Abbildung 2-11: Landwirtschaftliche Biogasanlagen in Deutschland..... | 15 |
| Abbildung 2-12: Installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen (Stand Dezember 2006; *Leistungsklassen gegenwärtig noch nicht abschätzbar) | 16 |
| Abbildung 2-13: Anlagenanzahl und durchschnittliche installierte Anlagenleistung von Biogasanlagen auf Kreisebene in Deutschland | 17 |
| Abbildung 2-14: Durchschnittliche installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen in den Bundesländern (Stand Dezember 2006)..... | 18 |
| Abbildung 2-15: Anteil der Bundesländer am Anlagenbestand und an der installierten elektrischen Leistung der Biogasanlagen | 18 |
| Abbildung 2-16: Potenzielle Stromerzeugung der Biogasanlagen (Stand Dezember 2006) | 19 |
| Abbildung 2-17: Massebezogener Substrateinsatz einzelner Substratkategorien in Biogasanlagen | 20 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 2-18: Entwicklung der Anteile der Energieträger an der Bruttostromerzeugung in Deutschland | 22 |
| Abbildung 2-19: Entwicklung der Stromerzeugung aus biogenen Energieträgern..... | 22 |
| Abbildung 2-20: Entwicklung der vermiedenen CO ₂ -Emissionen durch Einsatz von Biomasse zur Stromerzeugung (Bruttobilanz ohne Berücksichtigung von Wärmegutschriften aus KWK)..... | 24 |
| Abbildung 2-21: Anteile an der installierten elektrischen Leistung für die Jahre 2005 und 2006... 25 | |
| Abbildung 3-1: Klassifizierung biogener Reststoffe | 28 |
| Abbildung 3-2: Prinzipielle energetische Nutzungsoptionen biogener Reststoffe | 29 |
| Abbildung 4-1: Stoffstromdiagramm für Altholz auf Grundlage statistischer Erhebungen | 33 |
| Abbildung 4-2: Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallbereichen.... | 35 |
| Abbildung 4-3: Bundesweites Aufkommen an separat vorliegendem Altholz in den verschiedenen Anfallbereichen und Altholzkategorien im Jahr 2003 | 36 |
| Abbildung 4-4: Technisches Potenzial separat vorliegender Altholzmengen in den Bundesländern im Jahr 2003 | 37 |
| Abbildung 4-5: Export und Importe von Holzabfällen im Zeitraum 2001 bis 2005 /73/ f..... | 43 |
| Abbildung 4-6: Altholzhandelnde Betriebe – Anzahl im Jahr 2001 und Marktvolumen 2001 und 2003 /58/..... | 45 |
| Abbildung 4-7: Entwicklung der Altholzpreise (frei Verwerter) im Zeitraum 1998 bis 2006 (*Basis Juli 2006) /79/..... | 47 |
| Abbildung 4-8: Spezifische Investitionskosten von im Zeitraum 2001 bis 2005 realisierten Biomasse(heiz)kraftwerken auf Altholzbasis..... | 49 |
| Abbildung 4-9: Sensitivitätsanalyse einzelner Faktoren auf den Stromgestehungspreis bei einem Biomasseheizkraftwerk 20 MW _{el} (Brennstoffpreis 20 €/t) | 53 |
| Abbildung 4-10: nominale Stromgestehungskosten für Altholz in Biomasse(heiz)kraftwerken in Abhängigkeit von der Anlagengröße; Annahme Brennstoffpreis: 0 bis 35 €/t für Altholz A I/II | 57 |
| Abbildung 4-11: Sensitivitätsbetrachtung einzelner Faktoren auf den Stromgestehungspreis bei einem Biomasse(heiz)kraftwerk 5 MW _{el} ; Annahme Brennstoffpreis: 20 €/t..... | 58 |
| Abbildung 5-1: Rechtliche Rahmenbedingungen für die Einordnung, Verarbeitung und Verwertung tierischer Nebenprodukte | 66 |
| Abbildung 5-2: Verteilung des verarbeiteten Rohmaterials von 1999 bis 2005 /7/ bis /10/, /14/.. | 72 |
| Abbildung 5-3: Mögliche Verfahrensprozesse bei der Tierkörperbeseitigung (für die Sterilisation zu Fleischbrei kommen nur Rohmaterialien der Kat. 3 in Frage) /11/, /15/..... | 74 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 5-4: Verteilung der in der hergestellten tierischen Nebenprodukte von 1999 bis 2005 /7/ bis /10/, /14/..... | 75 |
| Abbildung 5-5: Verteilung der Nutzung und Verwertung von TNP zwischen 2001 bis 2004(*inklusive Gärreste aus Biogasanlagen) /7/ bis /10/, /14/ | 77 |
| Abbildung 5-6: Entwicklung der stofflichen Nutzung und energetischen Verwertung von TNP zwischen 2000 und 2005 (* exklusive Flüssigfutter) /7/ bis /10/, /14/..... | 78 |
| Abbildung 5-7: Kartographischer Überblick über TKV in Deutschland /12/..... | 79 |
| Abbildung 5-8: Übersicht zu Anlagen für die thermische Beseitigung und die energetische Verwertung durch Mitverbrennung in Deutschland /28/..... | 80 |
| Abbildung 5-9: Energieträgerpotenzial tierischer Nebenprodukte | 82 |
| Abbildung 5-10: nominale Stromgestehungskosten für TNP in Biogasanlagen in Abhängigkeit von der Anlagengröße (Randbedingung: Erlös für TNP von 30 €/t _{FM})..... | 88 |
| Abbildung 5-11: Sensitivitätsanalyse für 150 kW _e -Biogasanlage (Randbedingung: Erlös für TNP von 30 €/t _{FM} bei Kosubstratanteil von 30%)..... | 89 |
| Abbildung 5-12: Verbrauch erschöpflicher Energieressourcen (KEA) je Tonne Rohmaterial | 93 |
| Abbildung 5-13: Treibhausgasemissionen je Tonne Rohmaterial | 94 |
| Abbildung 6-1: Absolute Bioabfallmengen für 2001 bis 2003 und Restmüllpotenzial für 2003 auf Länderebene | 108 |
| Abbildung 6-2: Einwohnerspezifische Bioabfallmengen für 2001 bis 2003 und Restmüllpotenzial für 2003 auf Länderebene..... | 109 |
| Abbildung 6-3: Häufigkeit der Vergärungsanlagen nach Durchsatzkapazität, Input und Verfahren (n=83/96)..... | 112 |
| Abbildung 6-4: Häufigkeit der Kompostierungsanlagen nach Durchsatzkapazität (n=421/831) 113 | |
| Abbildung 6-5: Durchsatzkapazitäten und Mengenaufkommen für Bio- und Grünabfall nach Bundesländern und Behandlungsverfahren (aerob/anaerob)..... | 113 |
| Abbildung 6-6: Anaerobe Behandlungskapazitäten für Bioabfall nach Bundesländer..... | 114 |
| Abbildung 6-7: Geografische Verteilung der Vergärungsanlagen in Deutschland..... | 115 |
| Abbildung 6-8: Anteiliges Aufkommen aus anderen Bundesländern an der insgesamt im jeweiligen Bundesland biologisch verwerteten Abfallmenge (2003)..... | 116 |
| Abbildung 6-9: Vermarktungswege von RAL-gütesicherten Komposten in 2002 (BGK)..... | 117 |
| Abbildung 6-10: Spezifische Investitionen bei Bioabfall-Vergärungsanlagen in Abhängigkeit vom Durchsatz (Vergleich spez. Invest Vergärungsanlagen; Datenbasis: FB & BGK Anlagen; bereinigt)..... | 126 |
| Abbildung 6-11: Reale Stromgestehungskosten und Vergütungen in Abhängigkeit von der Anlagengröße (Vergütungsbasis: 2006, Bioabfallerlös: 60 €/Mg)..... | 130 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 6-12: Sensitivitätsanalyse für 780 kW _{el} -Biogasanlage (Basis: inkl. Wärmenutzung; Bioabfallerlös: 60 €/Mg) | 131 |
| Abbildung 8-1: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus fester Biomasse bei Variation der KWK-Wärmegutschrift (Basis Erdgas) im Vergleich zu fossiler Stromerzeugung /186/..... | 149 |
| Abbildung 8-2: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus fester Biomasse bei Variation der KWK-Wärmegutschrift (Basis Heizöl) im Vergleich zu fossiler Stromerzeugung /186/..... | 150 |
| Abbildung 8-3: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus fester Biomasse im Vergleich zu Kohlestrom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Gasheizung /186/..... | 151 |
| Abbildung 8-4: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus fester Biomasse im Vergleich zu Kohlestrom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Ölheizung /186/..... | 152 |
| Abbildung 8-5: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus Biogas im Vergleich zu Erdgas- und Kohlestrom /186/..... | 156 |
| Abbildung 8-6: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Biogas im Vergleich zu fossilen Strom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Gasheizung /186/..... | 157 |
| Abbildung 8-7: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Biogas im Vergleich zu fossilen Strom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Ölheizung /186/..... | 158 |
| Abbildung 8-8: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus Biogas im Falle der Aufbereitung und Einspeisung und Nutzung im BHKW im Vergleich zu direkter Nutzung mit geringerer Wärmegutschrift /186/ | 159 |
| Abbildung 8-9: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus Klär- und Deponiegas im Vergleich zu fossiler Stromerzeugung /186/..... | 161 |
| Abbildung 8-10: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Klär- und Deponiegas im Vergleich zu fossiler Stromerzeugung, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Gasheizung /186/ | 162 |
| Abbildung 8-11: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Klär- und Deponiegas im Vergleich zu Erdgasstrom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Ölheizung /186/ | 163 |
| Abbildung 8-12: Gesamte THG-Emissionen bei Strom aus Pflanzenölen im Vergleich zu Kohle- und Erdgasstrom /186/..... | 165 |
| Abbildung 8-13: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Pflanzenölen im Vergleich zu Kohle- und Erdgasstrom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Gasheizung /186/..... | 166 |
| Abbildung 8-14: Gesamte Luftschadstoffemissionen bei Strom aus Pflanzenölen im Vergleich zu Kohle- und Erdgasstrom, Gutschrift für KWK-Systemen auf der Basis einer Ölheizung /186/ | 167 |

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Abbildung 8-15: | Anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte von Böden /184/ | 170 |
| Abbildung 8-16: | Humusreproduktionsleistung organischer Dünger /184/ | 170 |
| Tabelle 2-1: | Entwicklung der Bruttostromerzeugung in Deutschland (* vorläufige Angaben) /171/..... | 21 |
| Tabelle 2-2: | Datenbasis Treibhausgasemissionen – Stromerzeugung aus Biomasse | 23 |
| Tabelle 2-3: | Abschätzung der gesamten und vermiedenen Treibhausgasemissionen für die Stromerzeugung /174/ f..... | 24 |
| Tabelle 2-4: | Übersicht Bioenergieanlagen zur Stromerzeugung für das Jahr 2006..... | 25 |
| Tabelle 4-1: | Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallbereichen.... | 35 |
| Tabelle 4-2: | Bundesweites Aufkommen an separat vorliegendem Altholz in den verschiedenen Anfallbereichen und grobe Abschätzung der Anteile der einzelnen Altholzkategorien..... | 35 |
| Tabelle 4-3: | Bundesweites Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Anfallbereichen und Altholzkategorien im Jahr 2003 im Vergleich zu /57/ | 36 |
| Tabelle 4-4: | Einsatzmöglichkeiten der einzelnen Altholzkategorien in unterschiedlichen Feuerungsanlagen (nach /64/) | 39 |
| Tabelle 4-5: | Holz- und Altholz in Feuerungsanlagen im Jahr 2003 | 40 |
| Tabelle 4-6: | Anlieferungsmengen in Abfallverbrennungsanlagen im Zeitraum 1998 bis 2003 /70/..... | 41 |
| Tabelle 4-7: | Energie- und Altholzeinsatz in Anlagen der Zementindustrie im Zeitraum 1998 bis 2005 /71/ | 42 |
| Tabelle 4-8: | Altholzbilanz für Deutschland für das Jahr 2003 | 44 |
| Tabelle 4-9: | Verwerter-Ankaufpreise für verschiedene Altholzsortimente und Regionen /80/ ff..... | 48 |
| Tabelle 4-10: | 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..... | 51 |
| Tabelle 4-11: | Wesentliche Randbedingungen und Stromgestehungskosten für Althölzer in bestehenden Biomasse(heiz)kraftwerken bei Wärmeauskopplung (Bezugsjahr 2002/2003) /5/ | 52 |
| Tabelle 4-12: | Randbedingungen und Stromgestehungskosten für Althölzer A I/II in Biomasse(heiz)kraftwerken bei Wärmeauskopplung (Bezugsjahr 2005/2006) ... | 56 |
| Tabelle 4-13: | Bundesweites Aufkommen an Altholz insgesamt für das Jahr 2003 und Tendenz bis 2010 in den verschiedenen Anfallbereichen | 60 |
| Tabelle 4-14: | Zubau von Altholzkraftwerken im Zeitraum 2004 bis 2010 | 62 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Tabelle 4-15: | Altholzkraftwerke in Deutschland in den Jahren 2005 und 2010 im Vergleich... | 63 |
| Tabelle 5-1: | Kategorisierung der tierischen Rohmaterialien nach Verordnung (EG) 1774/2002 /12/, /15/, /16/ (Art. 4 ff.)..... | 68 |
| Tabelle 5-2: | Energieträgerpotenzial tierischer Nebenprodukte /174/ | 82 |
| Tabelle 5-3: | Preisniveaus für energetische Verwertung von TNP..... | 84 |
| Tabelle 5-4: | Randbedingungen und Stromgestehungskosten für TNP-Biogasanlagen (Bezugsjahr 2005) | 87 |
| Tabelle 5-5: | Energieaufwendung und Produktzusammensetzung je Tonne Rohmaterial bei der Verwendung unterschiedlicher Energieträger zur Produktion von Tiermehl- und -fett..... | 92 |
| Tabelle 6-1: | Abfallaufkommen nach Jahren und Datenquellen..... | 105 |
| Tabelle 6-2: | Absolutes und spezifisches Bioabfallaufkommen in Deutschland (2003) | 105 |
| Tabelle 6-3: | Theoretische Potenziale an Bioabfällen in Deutschland (2003)..... | 106 |
| Tabelle 6-4: | Entwicklung der Behandlungskapazitäten für Bio- und Grünabfälle..... | 110 |
| Tabelle 6-5: | Zuordnung von Mengenströmen zu Behandlungsanlagen in Deutschland für 2002 (StBA 2005) | 111 |
| Tabelle 6-6: | Entwicklung der den Vergärungsanlagen zugewiesenen Mengen | 111 |
| Tabelle 6-7: | Substrate der Bioabfallbehandlungsanlagen..... | 120 |
| Tabelle 6-8: | Energieerzeugung | 121 |
| Tabelle 6-9: | Gärrestnutzung | 121 |
| Tabelle 6-10: | Stromerzeugung aus der Behandlung der kommunalen Bioabfälle | 122 |
| Tabelle 6-11: | Logistik- und Behandlungskosten der getrennten Rest- und Bioabfallerrfassung gegenüber einer ausschließlichen Hausmüllerfassung in unterschiedlichen Entsorgungsgebieten (INFA, 2004; teilw. verändert) | 123 |
| Tabelle 6-12: | Spezifische Entsorgungskosten für Restmüll und Bioabfall im kreisfreien Städten /140/..... | 124 |
| Tabelle 6-13: | Investitionen nach unterschiedlichen Leistungsklassen (bezogen auf Input)..... | 126 |
| Tabelle 6-14: | Personalkosten..... | 127 |
| Tabelle 6-15: | Kostenansätze und Randbedingungen für die Modellanlagen zur Stromerzeugung aus Bioabfällen zur Berechnung der Stromgestehungskosten..... | 129 |
| Tabelle 7-1: | Zweifelsfragen und Streitfälle zur BiomasseV (§ 8 Abs. 7 EEG)..... | 142 |
| Tabelle 7-2: | Zweifelsfragen und Streitfälle zur § 8 Abs. 2 EEG..... | 143 |

| | |
|---------------|--|
| Tabelle 8-1: | Direkte THG- und Luftschadstoffemissionen der Stromerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen ohne Gutschrift für KWK-Wärme (Brutto-Bilanz) /186/ 147 |
| Tabelle 8-2: | Gesamte Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen der Stromerzeugung (Nettobilanz) /186/ 148 |
| Tabelle 8-3: | Direkte Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen der Stromerzeugung aus Biogas ohne Gutschrift für KWK-Wärme (Brutto-Bilanz) /186/ 154 |
| Tabelle 8-4: | Gesamte Treibhausgas- und Luftschadstoffbilanzen (netto) der Stromerzeugung aus Biogas /186/ 155 |
| Tabelle 8-5: | Direkte Treibhausgas- und Luftschadstoffbilanz (brutto) der Stromerzeugung aus biogenen Gasen /186/ 160 |
| Tabelle 8-6: | Treibhausgas- und Luftschadstoffbilanzen der Stromerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen /186/ 160 |
| Tabelle 8-7: | Direkte Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen der Stromerzeugung aus biogenen Ölen /186/ 163 |
| Tabelle 8-8: | Treibhausgas- und Luftschadstoffbilanzen der Stromerzeugung aus biogenen Ölen /186/ 164 |
| Tabelle 8-9: | Humusreproduktionspotenzial verschiedener organischer Substrate /182/ 172 |
| Tabelle 8-10: | Humusreproduktionspotenzial verschiedener organischer Substrate /182/ 172 |

