

# Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe

Kurzstudie für die Fraktion  
Bündnis90/Grüne im Deutschen Bundestag

Darmstadt, im Dezember 2008

## **Autoren:**

Kirsten Wiegmann

Günter Dehoust

Katja Hünecke

Uwe R. Fritsche

Mitarbeit von:

Marcela Umaña Velásquez

**Öko-Institut e.V.**

**Büro Darmstadt**  
Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt  
Tel. (06151) 81 91-0  
Fax (06151) 81 91-33

**Geschäftsstelle Freiburg**  
Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg  
Tel. (0761) 4 52 95-0  
Fax (0761) 4 52 95-88

**Büro Berlin**  
Novalisstraße 10  
10115 Berlin  
Tel. (030) 28 04 86-80  
Fax (030) 28 04 86-88



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Biogene Reststoffpotenziale in Deutschland</b> .....	<b>2</b>
2.1	Technisch-ökologisches Potenzial .....	3
2.2	Aktuelle Ausnutzung und zukünftige Entwicklung der Potenziale .....	6
2.2.1	Details zum Waldrestholzpotenzial und dessen aktueller Ausnutzung .....	10
<b>3</b>	<b>Bedeutende ungenutzte Potenziale und mögliche Nutzungstechnologien im Detail</b> .....	<b>14</b>
3.1	Bio- und Grünabfall.....	14
3.2	Waldrestholz.....	16
3.2.1	Derzeitige Nutzung.....	17
3.2.2	Potenziale .....	18
3.3	Stroh.....	21
3.4	Gülle .....	23
<b>4</b>	<b>Nutzungsszenarien</b> .....	<b>26</b>
4.1	Szenarien Bioabfall .....	26
4.1.1	Behandlungsschritte.....	27
4.1.2	Substitution .....	29
4.1.3	Bilanzergebnisse für die Bioabfall-Szenarien.....	29
4.2	Szenarien Grünabfall .....	31
4.2.1	Behandlungsschritte.....	31
4.2.2	Bilanzergebnisse für das Grünabfall-Szenario.....	32
4.2.3	Fazit .....	33
4.3	Szenarien Waldrestholz.....	33
4.3.1	Substitution von Sägespänen (Szenario 1).....	34
4.3.2	Einsatz in Holz-Heizkraftwerken (Szenario 2).....	38
4.3.3	Fazit .....	40

<b>4.4</b>	<b>Szenarien Stroh .....</b>	<b>41</b>
4.4.1	Behandlungsschritte .....	42
4.4.2	Substitution .....	45
4.4.3	Bilanzergebnisse für die Stroh-Szenarien .....	46
4.4.4	Fazit .....	48
<b>4.5</b>	<b>Szenarien Gülle .....</b>	<b>49</b>
4.5.1	Behandlungsschritte .....	51
4.5.2	Substitution .....	53
4.5.3	Bilanzergebnisse der Gülle-Szenarien .....	54
4.5.4	Fazit für die energetische Nutzung von Gülle .....	56
<b>5</b>	<b>Wirtschaftliches Potenzial .....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse .....</b>	<b>61</b>
6.1	Stroh .....	62
6.2	Waldrestholz .....	63
6.3	Gülle .....	64
6.4	Bioabfall .....	64
6.5	Schlussfolgerungen .....	64
<b>7</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>Umsetzungsstrategien .....</b>	<b>65</b>
8.1	Förderung von Wärmenetzen .....	65
8.2	Regeneratives Wärmegesetz .....	66
8.3	Abwärmeabgabe .....	67
8.4	Förderung von Premiumstrom und -wärme .....	67
8.5	Förderung von KWK-Strom .....	68
8.6	Investitionsprogramm zur Förderung von Zukunftstechnologien (ZIP) .....	68
8.7	Investitionsförderungsprogramme (und MAP) .....	69
8.8	Informations- und Motivationsprogramm .....	70
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>71</b>
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>74</b>

## 1 Einleitung

Die Bundesregierung und die EU setzen bei der Bereitstellung mit Strom, Wärme, Kraft- und Industrierohstoffen verstärkt auf Biomasse, entsprechende Fördermaßnahmen für Biokraftstoffe (Beimischungsquote), für Strom (EEG) sowie Wärme (Marktanreizprogramm, Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz) aus Biomasse sind erfolgreich.

Durch die stark gestiegene Nachfrage von Industrieländern in und außerhalb der EU nimmt der globale Handel mit biogenen Rohstoffen und verarbeiteten Bioenergieträgern (z.B. Pellets, Rapsöl, Biodiesel) stetig zu. In der Folge entwickeln viele Länder, insbesondere Entwicklungsländer eigene Bioenergie-Politiken, die sich stark auf den Export von Biokraftstoffen konzentrieren [GBEP 2007]. Steigende Importe von z.B. preisgünstigen Pflanzenölen und Bioethanol einerseits sowie der verstärkte Anbau von Energiepflanzen in den Exportländern oder für die heimische Nutzung können jedoch erhebliche - positive wie negative - Auswirkungen auf Umwelt, Klima, Artenvielfalt und soziale Systeme aufweisen.

Gerade der Anbau von Energiepflanzen ist durch seinen Flächenbedarf zunehmend in die Diskussion geraten: Der Energiepflanzenbau steht in Flächenkonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion und bildet einen weiteren Treiber die Ackerfläche zu Lasten natürlicher Habitate auszudehnen. Landnutzungsänderungen wie z. B. Abholzung von Regenwald oder die Erschließung von Moorflächen, können neben dem Verlust von Arten auch zu gravierenden Emissionen von Kohlenstoff in die Atmosphäre führen. Dadurch laufen die Bioenergiesysteme Gefahr, gar nicht mehr die erhoffte Treibhausgaseinsparung erbringen können. Die Nachhaltigkeit der Biomasse – als Energieträger zur Strom- und Wärmebereitstellung, als Biokraftstoffe, als Rohstoff und als Nahrungs- und Futtermittel – ist eine der zentralen Herausforderungen für die nachhaltige Ressourcennutzung. Hierfür werden derzeit Nachhaltigkeitsstandards für Biomasse und entsprechender Nachweisverfahren (Biomasse-Zertifizierung) national, in der EU und international entwickelt.

Vor diesem Hintergrund kommt dem Einsatz von Biomasse-Reststoffen aus der Land- und Forstwirtschaft sowie der industriellen Verarbeitung eine besondere Bedeutung zu, denn hierbei handelt es sich nicht nur um relativ kostengünstige Substrate, sondern sie entschärfen auch die Flächenkonkurrenz mit der Nahrung, Futtermitteln, Fasern und Naturschutz. Daher gibt diese Studie einen Überblick über die vorhandenen Biomassereststoffströme in Deutschland und zeigt effiziente und kostengünstige

Energienutzungen der großen ungenutzten Potenziale anhand der folgenden Arbeitsschritte auf:

- Synoptische Zusammenfassung der bisherigen Potenzialstudien zu biogenen Abfall- und Reststoffen  
technisch-ökologisches Potenzial, genutzte Potenziale ausgewiesen sowie Anteil in den Bereichen Strom, Wärme und Verkehr
- Identifizierung ungenutzter Potenziale und Darstellung möglicher Nutzungsoptionen mit deren Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz. Diese Szenarien betrachten auch die etwaige Änderung bisheriger Nutzungen.
- Bewertung der Wirtschaftlichkeit dieser Optionen auf Basis von zwei bis drei realen Anlagen und einer Einschätzung der zukünftigen technologischen Entwicklung und aktuellen Förderkulisse (EEG-Novelle, KWK-Gesetz-Novelle) sowie Berücksichtigung der absehbaren Energiepreisentwicklung.
- Darstellung des Vermeidungs- bzw. Reduktionspotenzial für Treibhausgase für die betrachteten Nutzungsoptionen
- Erarbeitung einer Mobilisierungsstrategie für biogene Abfall- und Reststoffe (beispielsweise ökonomische und verwaltungstechnische Fördermaßnahmen Konzeption eines Modellwettbewerb).

## 2 Biogene Reststoffpotenziale in Deutschland

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über bisherige Studien, die Zahlen zu verfügbaren Reststoffpotenziale und deren aktueller Nutzung nennen. Aus dieser Gegenüberstellung ergibt sich, für welche der dargestellten Stoffströme noch nennenswerte ungenutzte Potenziale existieren, die für eine Verwertung erschlossen werden könnten.

Hierzu wurden folgende Studien (und Szenarien innerhalb der Studien) ausgewertet:

- Öko-Institut et al. 2004:  
Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse
  - Referenzszenario (REF): Politikfortschreibung ohne besondere Förderung der Bioenergie
  - Biomasseszenario (BIO): Engagierte Förderung der Bioenergie
- IE et al. 2005 (Institut für Energetik und Umwelt et al.):  
Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext
  - Diese Studie betrachtet zwar zwei verschiedenen Szenarien, doch beziehen sich die Unterschiede nur auf Fragen der Landwirtschaft/Landnutzung, für Reststoffe findet keine Betrachtung verschiedener Szenarien statt.
- FZK 2003 (Forschungszentrum Karlsruhe):  
Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen
  - Diese Studie unterscheidet nicht in unterschiedliche Szenarien

- Ifeu/Öko-Institut 2006 (Institut für Energie- und Umweltforschung und Öko-Institut): Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle
  - Diese Studie unterscheidet nicht in unterschiedliche Szenarien

Einen ähnlichen Überblick gibt auch der Sachverständigenrat für Umweltfragen in seinem Sondergutachten „Umweltschutz durch Biomasse“ [SRU 2007]. Darin wird auch die Studie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt [DLR et al. 2004] Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland zitiert. Die Biomassepotenziale dieser Studie sind eng mit der Biomasse-Stoffstrom-Studie des Öko-Institut [Öko-Institut et al. 2004] abgestimmt und folglich weitestgehend identisch. Daher wird die DLR-Studie hier nicht eigens aufgeführt<sup>1</sup>.

Die betrachteten biogenen Reststoffe stammen aus folgenden Quellen:

- Landwirtschaft: Ernterückstände (Stroh u.a.), Gülle
- Forstwirtschaft: Schwachholz, Waldrestholz
- Holz- und Papierwirtschaft: Altholz, Papierschlämme, Altpapier u.a.
- Landschaftspflege: Grünschnitt und Gehölzschnitt von Wegen, Parks, Friedhöfen sowie aus der Biotoppflege
- Tierkörperverwertung: Schlachtabfälle, Tierfette
- Lebensmittel- und Genussmittelindustrie: Kartoffelschlempe, Biertreber, Melasse, Apfeltrester u.a.
- Abfallwirtschaft: Biogener Anteil im Restabfall, Speiseabfälle, Deponiegas von Abfalldeponien
- Abwasserwirtschaft: Klärschlamm, Klärgas

## 2.1 Technisch-ökologisches Potenzial

Die Potenzialangaben der Studien beziehen sich in der Regel auf den Begriff des *technisch-ökologischen Potenzials*. Dieses beschreibt die Menge, die unter ökologischen und technischen Restriktionen tatsächlich nutzbar ist. Die Restriktionen berücksichtigen die Mobilisierbarkeit der Biomasse, technische Nutzungsoptionen und ökologische Restriktionen wie beispielsweise die Wahrung geschlossener Nährstoffkreisläufe, den Schutz von Lebensräumen und die Nachwuchsrate. Dieses technisch-ökologische Potenzial ist für die langfristige Umsetzung relevant, kann aber kurzfristig wegen wirtschaftlicher, politischer oder auch sozialer Restriktionen nicht in voller Höhe erschlossen werden.

---

<sup>1</sup> Zwischen den Studien variieren nur die Angaben für Waldholz, u.a. da die DLR-Studie zusätzlich die Niederwaldnutzung untersuchte, außerdem wurde ein zusätzliches Potenzial für Pflegereste aus Offenland und anderen Biotopen angenommen.

Das technisch-ökologische Potenzial berücksichtigt auch die Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung, wie Fasern, Werkstoffe oder organische Dünger: Da die stoffliche Nutzung in der Regel nicht die anschließende energetische Nutzung ausschließt (Kaskadennutzung), genießt die stoffliche Nutzung meistens Priorität<sup>2</sup>.

Für das Bezugsjahr 2000 geben die Studien das technisch-ökologische Potenzial der Biomassereststoffe von 843 bis 1112 PJ/a – inklusive der Potenziale für Rohholz, Stammholz, Holzzuwachs und Altpapier, siehe Abbildung 1. Ohne die genannten Posten liegt das Reststoffpotenzial in einer Schwankungsbreite von 574 bis 843 PJ/a. Das entspricht 4,1 % bis 6,1 % des Primärenergieverbrauchs von 2007.

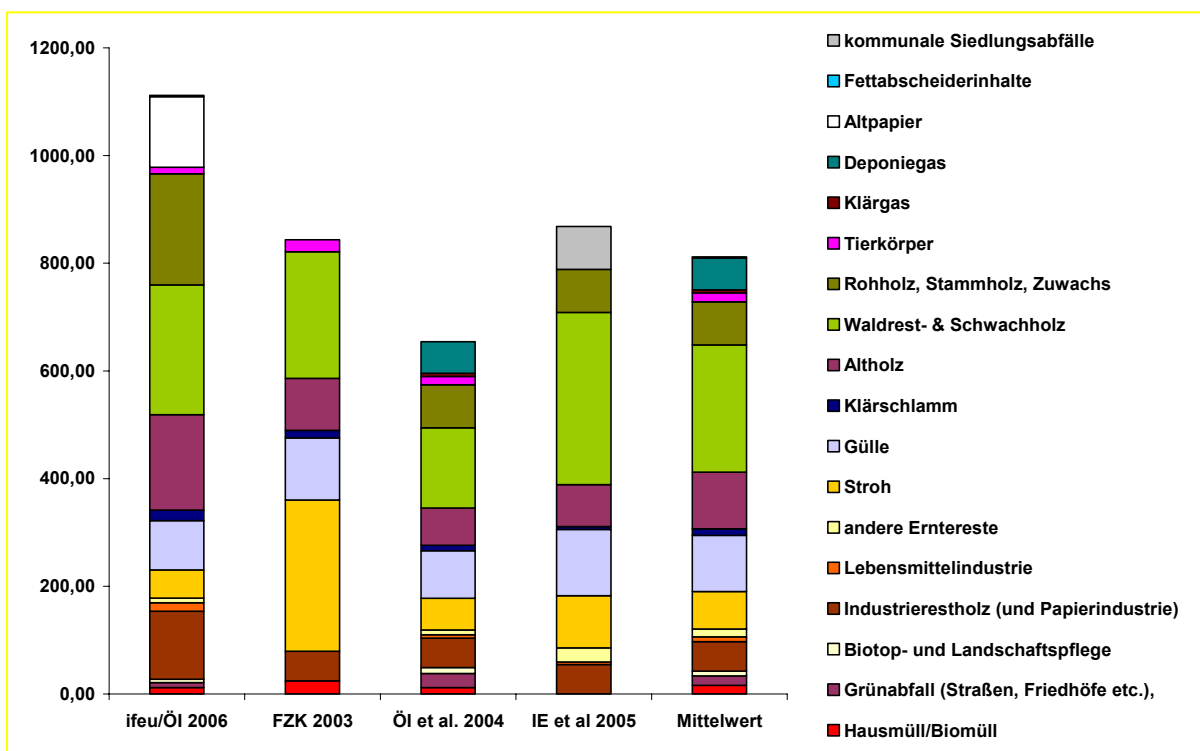


Abbildung 1: Reststoffpotenziale (PJ/a) – Überblick aus verschiedenen Studien und Mittelwertbildung (für Öko-Institut et al. 2004 wurde das Referenzszenario herangezogen)

Die große Schwankungsbreite von 574 bis 843 PJ/a resultiert aus verschiedenen Ursachen:

- Es gibt für eine ganze Reihe an biogenen Reststoffen keine statistischen Angaben, so dass das Potenzial über Modellansätze hochgerechnet wird – beispielsweise das Strohaufkommen über das Korn:Stroh-Verhältnis aus der Getreideproduktion.

<sup>2</sup> In Einzelfällen, kann bei der Kaskadennutzung die energetische Nutzung auch vor der stofflichen erfolgen - wie beispielsweise bei der Vergärung (Bioabfälle und Gülle), bei der der Gärrest als Düngemittel verwendet wird.



- Die Biomassereststoffe sind mit anderen Stoffströmen in der amtlichen Statistik zusammengefasst, so dass die Studien Annahmen über den biogenen Anteil getroffen haben – beispielsweise der organische Anteil im Hausmüll/Siedlungsabfall.
- Die Studien zählen unterschiedliche Stoffströme auf – beispielsweise werden Deponiegas und Altpapier nicht in allen Studien erfasst.
- Die Einschätzungen bezüglich der technischen und ökologischen Restriktionen variieren.

Aus diesen Datenunsicherheiten ergeben sich die größten Schwankungsbreiten für folgende Potenziale:

1. Stroh:  
Der Wert der FZK-Studie liegt deutlich über denen der anderen Studien. Gründe hierfür sind die Annahme höherer Entnahmeraten und eines anderen Korn:Stroh-Verhältnisses.  
Dieser FZK-Wert für Stroh ist nicht in die Mittelwertbildung eingegangen.
2. Altholz:  
Das Potenzial in ifeu/ÖI 2006 liegt etwa doppelt so hoch wie das in den anderen Studien. Diese Abweichung resultiert daraus, dass die ifeu/ÖI-Studie abbildet, wie hoch mittlerweile der tatsächlich energetisch genutzte Anteil von Altholz in Deutschland ist. Angesichts der EEG-Vergütung hat sich von 2002 bis 2006 die Verwendung von Altholz von der stofflichen Nutzung (v.a. Spanplattenindustrie) zur Energienutzung verschoben. Die anderen Studien bilden dagegen ab, dass eine mögliche stoffliche Nutzung gegenüber der Energienutzung theoretisch den Vorrang haben sollte.  
Alle Werte fließen in die Mittelwertbildung ein.
3. Waldrest- und Schwachholz:  
Die größten Unterschiede in Bezug auf das Waldrest- und Schwachholzpotenzial liegen zwischen Öko-Institut et al. 2004 und IE et al. 2006. Die Ursachen liegen hier v.a. in unterschiedlichen Mobilisierungsraten und Annahmen zu Schutzgebieten und dem Totholzanteil innerhalb des Wirtschaftswaldes<sup>3</sup>.  
Alle Werte fließen in die Mittelwertbildung ein.
4. Stammholz und ungenutzter Zuwachs:  
Die Angaben für das Stammholz und den ungenutzten Zuwachs sind in ifeu/ÖI [2006] deutlich am größten, weil diese Studie sowohl die stoffliche als

---

<sup>3</sup> Die Studie von IE et al. [2006] geht für das technisch-ökologische Potenzial von der maximalen Mobilisierungsrates des Waldrestholzes sowie des ungenutzten Zuschlags von 100 % aus. Außerdem bleiben Schutzgebiete und der Totholzanteil innerhalb des Wirtschaftswaldes unberücksichtigt. Beides hat jedoch Bedeutung für das Waldrestholzpotenzial: In EEA [2006] sinkt das Energieholzpotenzial aus dem Wald um 25 % durch die Berücksichtigung von 5 % Schutzflächen und das Belassen von Totholz im Wald (5 % vom ungenutzten Waldrestholz).

auch die energetische Nutzung von Biomassereststoffen zum Thema hat. In den anderen Studien, die den Fokus auf der Energienutzung haben, wird das stofflich genutzte Stammholz nicht näher betrachtet.

Rohholz und Stammholz sind zwar keine Reststoffe, doch hängt das verfügbare Restholzpotenzial direkt mit der stofflichen Holznutzung zusammen, denn erst durch deren Einschlag entsteht das Restholz. Daher ist dieser Stoffstrom hier aufgeführt.

Entsprechend wird der Wert in der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt.

5. Industrierestholz:

Das Potenzial für Industrierestholz ist ebenfalls bei Ifeu/Öko-Institut [2006] deutlich am größten angegeben. Auch hier resultieren die höheren Werte aus der Einbeziehung der möglichen stofflichen Nutzung.

Entsprechend wird der Wert in der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt.

Aus den einzelnen Mittelwerten für die einzelnen Stoffströme ergibt sich schließlich ein mittleres Gesamtpotenzial für biogene Reststoffe in Höhe von 812 PetaJoule für das Jahr 2000 (siehe rechte Säule in Abbildung 1).

## 2.2 Aktuelle Ausnutzung und zukünftige Entwicklung der Potenziale

Im Folgenden werden die zukünftige Entwicklung der energetischen Potenziale sowie die aktuelle Potenzialnutzung aus Biomassereststoffen dargestellt. Dabei ist das umgesetzte Potenzial diejenige Menge, die bereits heute (bzw. 2000) in „optimierter“ Weise genutzt wird. Die Differenz zwischen dem technisch-ökologischen Potenzial und dem umgesetzten Potenzial steht hingegen noch zur Mobilisierung zur Verfügung [Öko-Institut et al. 2004; Ifas 2006].

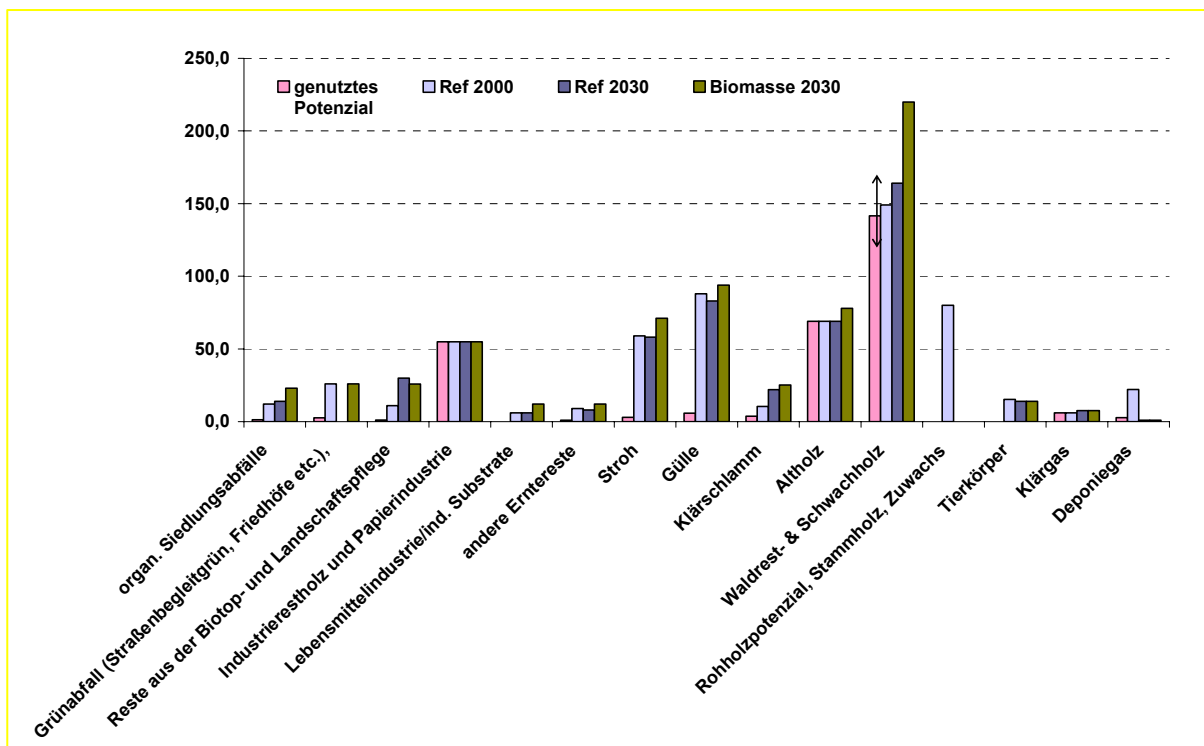
Der SRU stellt in seiner synoptischen Übersicht fest, dass eine Zunahme des technischen Potenzials in fast allen Szenarien und Studien nur für wenige Stoffströme angenommen wird [SRU 2007], nämlich für:

- Waldrestholz
- Biomüll (als getrennt gesammelter Hausmüllanteil)
- Landschaftspflegematerial
- Klärschlamm

Angesichts dieser geringen Dynamik der Potenziale wird die zukünftige Entwicklung nicht mehr der Mittelwert aus den verschiedenen Studien gebildet. Stattdessen wird die Entwicklung beispielhaft anhand der Daten aus der Studie Öko-Institut et al. [2004] dargestellt. Die ermittelte aktuelle Potenzialausnutzung (in %) wird dabei auf diese Daten des Referenzszenarios angewendet.

Abbildung 2 zeigt die aktuelle Ausnutzung des Potenzials der einzelnen Reststoffe sowie die Höhe des Potenzials in den Jahren 2000 für das Referenzszenario und für 2030 für das Referenz- und das Biomasseszenario.

Abbildung 2: Aktuelle Ausnutzung des Potenzials einzelner Reststoffe sowie Höhe des Potenzials in den Jahren 2000 und 2030 unterschiedliche Szenarien betrachtet nach Öko-Institut et al. [2004]



Die Daten für die Abbildung sind noch einmal in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Aktuelle Ausnutzung des Potenzials einzelner Reststoffe sowie Höhe des Potenzials in den Jahren 2000 und 2030 unterschiedliche Szenarien betrachtet nach Öko-Institut et al. [2004]

Angaben in PJ/a	Ref 2000	Ref 2030	Biomasse 2030	genutztes Potenzial
organ. Siedlungsabfälle	12,0	14,0	23	10%
Grünabfall (Straßenbegleitgrün, Friedhöfe etc.)	26,0		26	10%
Reste aus der Biotop- und Landschaftspflege	11,0	29,9	25,9	10%
Industrierestholz und Papierindustrie	55,0	55,0	55	100%
Lebensmittelindustrie/ind. Substrate	6,0	6,0	12	k.A.
andere Erntereste	9,0	8,0	12	10,0%
Stroh	59,0	58,0	71	5%
Gülle	88,0	83,0	94	6,6%
Klärschlamm	10,4	21,9	25,2	35%
Altholz	69,0	69,0	78	100%
Waldrest- & Schwachholz – MIN	149,0	164,0	220	75%
Waldrest- & Schwachholz - MAX	149,0	164,0	220	115%
Rohholzpotenzial, Stammholz, Zuwachs	80,0	---	---	---
Tierkörper	15,3	14,0	14	k.A.
Klärgas	5,9	7,6	7,6	100%
Deponiegas	22,0	0,9	0,9	12%
<b>Summe PJ</b>	<b>617,6</b>	<b>531,3</b>	<b>664,6</b>	

Aus Abbildung 2 wird deutlich, dass die Potenziale im Referenzszenario für die Zeitpunkte 2000 und 2030 für das Gros der Biomassen vergleichbar sind. Ein erhöhtes Potenzial gegenüber 2000 zeigen dagegen vor allem Waldrestholz, Siedlungsabfälle, Stroh und Landschaftspflegereste im Biomasseszenario. Diese Abweichungen beruhen im Wesentlichen in höheren Mobilisierungsraten, die aus den Annahmen für bessere Förderbedingungen für die energetische Biomassenutzung in diesem Szenario resultieren.

Außerdem zeigt die Abbildung, dass bereits heute die Potenziale für Industrierestholz und Altholz quasi vollständig genutzt werden.

Die Bewertung der Waldholznutzung muss dagegen differenzierter erfolgen, als der einfache Vergleich zwischen dem dargestellten Potenzial und dem energetisch genutzten Waldholz. Zusammenfassend lautet das Fazit, dass derzeit Holzsortimente energetisch genutzt werden, die auch für eine stoffliche Nutzung in Frage kommen. In den zitierten Potenzialstudien wurden diese Sortimente nicht für eine energetische Nutzung betrachtet. Daraus resultiert, dass entgegen der Rechnung zur Potenzialausnutzung noch keine Übernutzung<sup>4</sup> von Waldrestholz vorliegt.

<sup>4</sup> Im Jahr 2006 und 2007 gab es auf lokaler Ebene Befürchtungen, dass es bei einer Trendfortschreibung des Holzeinschlags und der Restholznutzung in absehbarer Zeit zu einer Übernutzung der Wälder kommt. Angesichts der massiv nachlassenden Holz Nachfrage auf den Märkten (v.a. bedingt durch die US-Immobilienkrise bzw. die damit verbundene weltweite Finanz- und Wirtschaftskrise) sind die Holzmärkte

Folglich existiert durchaus noch ein nennenswertes ungenutztes Potenzial an Waldrestholz – doch dessen genaue Bestimmung ist mit einigen Problemen verbunden (Details hierzu s. Kapitel 2.2.1).

**Nennenswerte mobilisierbare Potenziale gibt es also noch bei Bio- und Grünabfällen, Stroh und Gülle sowie Waldrestholz.**

Die Aufteilung der Bioenergie auf die Nutzungsbereiche Strom, Wärme und Verkehr (Kraftstoffe) ist in Tabelle 2 und in Abbildung 3 dargestellt. Im Jahr 2007 stammten 8,6 % des Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien. Daran hat die Biomasse mit Abstand den größten Anteil. Bezogen auf den gesamten deutschen Endenergiebedarf lag die Wärme aus Biomasse bei 3,2 %, Treibstoffe aus Biomasse bei 1,8 % und Strom aus Biomasse bei 0,9 %.

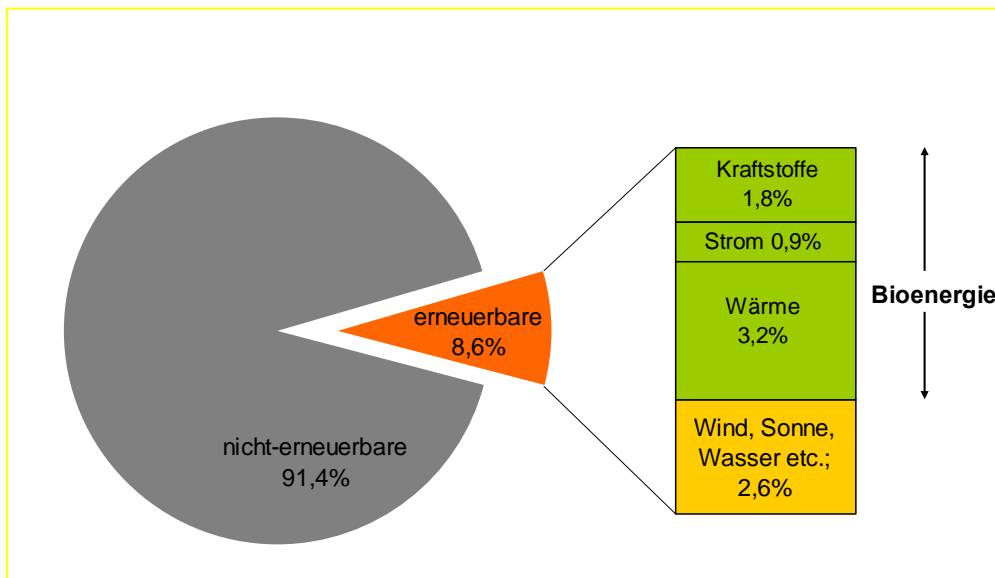


Abbildung 3: Prozentualer Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland für 2007, sowie die Aufteilung der Biomasse auf die einzelnen Energienutzungen und Anteil sonstiger erneuerbarer Energien.

Bezogen auf die einzelnen Sparten lag der Anteil biogener Kraftstoffe am gesamten Kraftstoffverbrauch im Jahr 2007 bei 7,6 %. Diese Menge stellt bisher den gesamten

---

fast zusammengebrochen und der Einschlag wurde in Süddeutschland teilweise um 80% reduziert [Luick 2008] und [LWF 2006].

Kraftstoffverbrauch aus erneuerbaren Energiequellen dar. (Wasserstoff und Elektroautos sind bisher quasi nicht verbreitet).

An der gesamten Wärmebereitstellung hatte die Biomasse im Jahr 2007 einen Anteil von 6,1 %. Das entspricht 93 % der Wärme aus erneuerbaren Energiequellen.

Für die Bruttostromerzeugung hatte die Biomasse 2007 eine etwas geringere Bedeutung als im Kraftstoff- und Wärmemarkt: 3,9 % der Bruttostromerzeugung stammen aus Biomasse, das entspricht einem Anteil von 27,5 % des Stroms aus regenerativen Energiequellen.

Tabelle 2: Energienutzung von Biomasse nach Sparten, sowie ihr Anteil am Primärenergieverbrauch, Endenergieverbrauch und an den Erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2007 (Biomasse inklusive Deponie- und Klärgas sowie biogene Abfälle)

	Anteil an PEV (Wirkungsgrad- methode)	Anteil an EEV absolut	Anteil Biomasse an EndEV (Angabe je Sparte)	Anteil Biomasse an EE (Angabe je Sparte)
Kraftstoffe aus Biomasse	1,2%	1,8%	7,6%	100,0%
Wärme aus Biomasse	1,2%	3,2%	6,1%	93,0%
Strom aus Biomasse	1,8%	0,9%	3,9%	27,5%
Summe Biomasse	4,2%	6,0%	---	---
Summe EE	6,7%	8,6%	---	---

PEV= Primärenergieverbrauch, EndEV= Endenergieverbrauch, EE= Erneuerbare Energien

Quelle: Erneuerbare Energien in Zahlen (Stand Juni 2008)

### 2.2.1 Details zum Waldrestholzpotenzial und dessen aktueller Ausnutzung

Angesichts großer Turbulenzen auf den Holzmärkten in den letzten Monaten kam es zu einer deutlichen Verschiebung der Holznutzungen, die eine Abschätzung der aktuellen Potenzialnutzung für Waldrestholz erschweren. In diesem Zusammenhang müssen folgende Aspekte genannt werden:

- **Große Bandbreite der ausgewiesenen Potenziale:**

Zunächst weisen die in der Literaturübersicht dargestellten Potenzialstudien eine große Bandbreite hinsichtlich des Waldrestholzes auf. Diese Bandbreite beruht auf verschiedenen Annahmen:

- Einbeziehung unterschiedlicher Schwachholzsortimente – (von 8 bis 12 cm Brusthöhendurchmesser),

- Unterschiedlich starke Berücksichtigung von Naturschutzaspekten wie Schutzgebiete und Totholzanteil,
  - Der Grad der stofflichen Holznutzung, der den Anfall von Waldrestholz bestimmt,
  - Außerdem entstehen durch den großen Maßstab bei der Hochrechnung der Potenziale für Deutschland große Unsicherheiten, da die Potenziale nicht regionalisiert erhoben wurden [Luick 2008].
- **Abweichungen zwischen unterstellter und tatsächlicher Nutzung einzelner Holzsortimente:**

Die Potenzialangaben für Energieholz umfassen Waldrest- und Schwachholz, Altholz und Industrierestholz. In der Praxis werden aber auch Holzsortimente energetisch genutzt, die in Konkurrenz zur stofflichen Nutzung stehen. Dies hat folgende Gründe:

    - Durch die weltweit schwache Baukonjunktur ist in den letzten Monaten der Absatzmarkt für Bauholz drastisch gesunken, mit entsprechendem Rückgang des Holzeinschlags. Hierdurch fallen nun viel geringere Waldrestholzmengen an und die zwischenzeitig gestiegene Nachfrage nach Energieholz kann nicht mehr aus Waldrestholz gedeckt werden. Folglich gehen Pellet- und Hackschnitzelhersteller dazu über, Rundholz zur energetische Nutzung aufzubereiten [Luick 2008, German Pellets 2008].
    - Die tatsächliche Nutzung ist außerdem stark von der Struktur der Besitzverhältnisse und der Flächengröße der einzelnen Forste geprägt. Wie aus einer Analyse für Bayern geschlossen werden kann, ist gerade in kleineren Privatwäldern der Anteil des Brennholzes sehr groß, da die Waldbesitzer wahrscheinlich ihren Eigenbedarf an Brennholz decken (auch Stammholz), während der Aufwand der Vermarktung kleinerer Mengen Stammholz sehr aufwändig ist [LWF 2006], siehe Abbildung 4
- **Fehlende statistische Erfassung der aktuellen Holznutzung:**

Zusätzlich wird die Darstellung der aktuellen Potenzialausnutzung dadurch erschwert, dass es keine statistische Erfassung der aktuellen Nutzung der einzelnen Waldholzsortimente gibt. Für eine Näherung muss auf unterschiedliche Quellen zurückgegriffen werden, die in ihrem regionalen und zeitlichen Bezug nicht zusammenpassen.

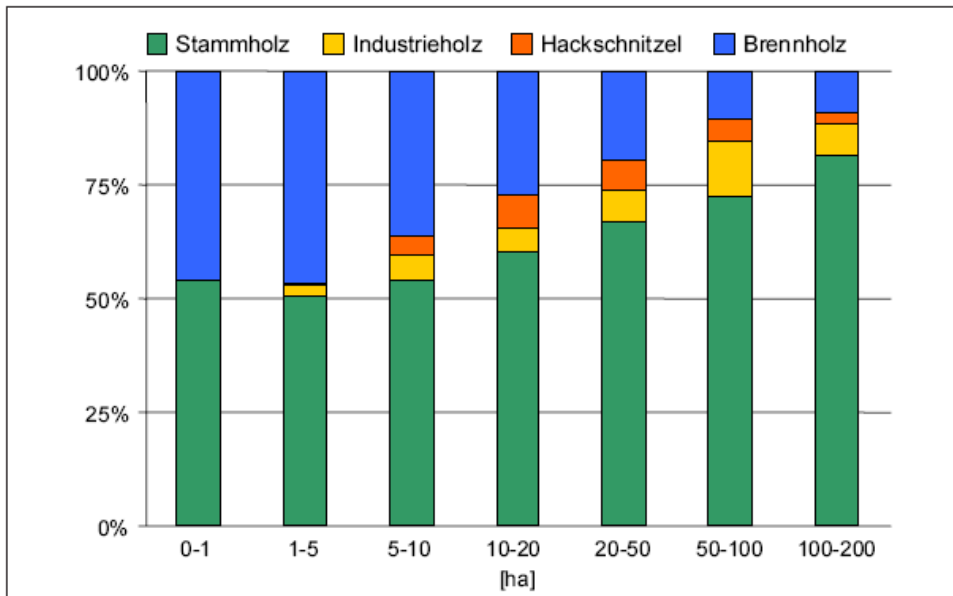


Abbildung 4: Holznutzung im Privatwald nach Besitzgrößen in Bayern (LWF 2006 zitiert Beck & Perschel 2006)

Unabhängig von den beschriebenen Problemen zur Ermittlung der aktuellen Potenzialausnutzung von Waldrestholz, soll hier dennoch versucht werden eine Bandbreite der aktuellen Nutzung anzugeben. Hierzu sind in Tabelle 3 einige mögliche Annahmen zur Herkunft von Holzpellets und Brennholz in Privathaushalten genannt.



Tabelle 3: Verschiedene Annahmen, für eine Einordnung des aktuell genutzten Waldrestholzpotenzials

Mittelwerte aus	allen Studien	ifeu/ÖI und FZK
<b>Waldrestholzpotenzial</b>	<b>=min</b>	<b>=max</b>
	236 PJ	283 PJ
<b>Annahmen zur aktuellen Waldrestholznutzung: jeweils WRH-Verstromung (=10,8PJ) plus Hausbrand mit folgenden Annahmen</b>		
<b>Maximum:</b> alle Hackschnitzel, Pellets und Scheitholz in privaten Haushalten aus WRH	270,4 Mio. t atro	
<b>resultierende Potenzialausnutzung Maximum</b>	<b>115%</b>	<b>96%</b>
<b>Alternative 1:</b> alle Pellets aus IRH und 15% restlichen Brennholzes aus Stammholz	211,7 Mio. t atro	
<b>resultierende Potenzialausnutzung Alternative 1</b>	<b>90%</b>	<b>75%</b>
<b>Alternative 2:</b> Pellets zu 50% aus IRH und 15% des restlichen Brennholzes aus Stammholz	221,6 Mio. t atro	
<b>resultierende Potenzialausnutzung Alternative 2</b>	<b>94%</b>	<b>78%</b>

WRH = Waldrestholz, IRH = Industrierestholz, Quelle: eigene Berechnungen

Gemäß diesen Annahmen liegt die Bandbreite des bereits ausgenutzten Waldrestholzpotenzials zwischen 75 % und 115 %. Wobei die Übernutzung (=115%) sehr unwahrscheinlich ist, denn wie dargestellt, werden derzeit in umfassender Weise andere Holzsortimente als nur Waldrest- und Schwachholz energetisch genutzt.

Aus den ausgeführten Schwierigkeiten wurde beschlossen, im Rahmen dieser Studie auf eine aktuelle (und detaillierte) Beschreibung der Restholzpotenziale zu verzichten. Stattdessen werden beispielhaft einige Szenarien zur energetischen Nutzung von Waldrestholz aus [ifeu/ÖI 2006]<sup>5</sup> zitiert.

---

<sup>5</sup> „Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle“ [ifeu/ÖI 2006].

### 3 Bedeutende ungenutzte Potenziale und mögliche Nutzungstechnologien im Detail

Im vorangegangenen Kapitel wurden Bio- und Grünabfälle, Waldrestholz sowie Stroh und Gülle als bedeutende mobilisierbare Potenziale identifiziert. In diesem Kapitel findet für diese Stoffströme eine kurze Herleitung der Potenziale statt und es werden die heute verbreiteten sowie möglichen Verbesserungen der Nutzungstechnologien erläutert.

#### 3.1 Bio- und Grünabfall

Für Bio- und Grünabfall wird in Abbildung 1 ein durchschnittliches Potenzial von 42,3 PJ/a ermittelt, unterteilt in die Fraktionen Rest-/Bioabfall, Grünabfälle und Reststoffe aus Biotop- und Landschaftspflege. Die Abgrenzung zwischen den einzelnen Fraktionen ist unklar, da beispielsweise die Gehalte im Restmüll sowohl Bio- als auch Grünabfälle enthalten. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Fraktionen bezüglich der Energiegehalte sind nicht eindeutig definiert. Je nach den, in den einzelnen Studien getroffenen, Annahmen zu den Feuchtegehalten und Heizwerten der einzelnen Fraktionen, kann dem eine Masse von ca. 10 Mio. bis 12,5 Mio.  $t_{FM}$  Bioabfall/a zugewiesen werden. Dieser Wert wird in diesem Kapitel durch eine davon unabhängige Herleitung der Mengen überprüft.

Derzeit werden in Deutschland je Einwohner durchschnittlich etwa 50 kg Bioabfall aus Haushalten und etwa 50 kg Grünabfälle getrennt erfasst und verwertet [Witzenhausen-Institut 2008]. Das derzeit stofflich genutzte Potenzial für Bio- und Grünabfälle beträgt also jeweils 4,1 Mio.  $t_{FM}/a$ <sup>6</sup>. Die Grünabfälle werden ausschließlich kompostiert, die Bioabfälle werden etwa zu 90 % kompostiert und etwa zu 10 % vergärt [Ifeu/Öko-Institut 2006, IGW 2008].

Die Sammelmengen unterscheiden sich in den einzelnen Bundesländern erheblich. Bei Bioabfällen schwankt die erfasste Menge zwischen etwa 75 kg und 5 kg je Einwohner und Jahr, bei den Grünabfällen zwischen 100 kg und 0 kg. Noch erheblich größer sind die Schwankungen, wenn man auf Ebene der einzelnen Entsorgungsgebietskörperschaften vergleicht.

---

<sup>6</sup> Zugrunde gelegte Einwohnerzahl für Deutschland im Jahr 2006: 82,4 Mio.

Bei Bioabfällen werden insbesondere in den Stadtstaaten weit unterdurchschnittliche Mengen erfasst<sup>7</sup>. Dies liegt insbesondere an dem geringen Anschlussgrad in verdichteten Wohngebieten. Neue Konzepte zur getrennten Erfassung von Wertstoffen im Geschosswohnungsbau mittels Müllschleusen und angepassten Abfallmanagementsystemen zeigen, dass auch diese Potenziale mit vertretbarem Aufwand erschlossen werden können. Nimmt man die durchschnittlich getrennt erfasste Bio- und Grünabfallmengen der Bundesländer mit den höchsten Sammelquoten ergeben sich als Gesamtpotenzial für Bioabfall bundesweit etwa 70 kg je Einwohner und Jahr<sup>8</sup> (5,8 Mio. t/a) und für Grünabfall 75 kg je Einwohner und Jahr<sup>9</sup> (6,2 Mio. t/a). Auch wenn man berücksichtigt, dass die Abgrenzung zwischen Bio- und Grünabfällen bundesweit nicht einheitlich erfolgt, und deshalb bei sehr hohen Bioabfallmengen nur bedingt auch sehr hohe Grünabfallmengen unterstellt werden können, sind diese Potenziale als realistisch erreichbar einzustufen und werden in der Summe bereits in drei Bundesländern knapp erreicht oder überschritten, obwohl eine konsequente getrennte Erfassung im Geschosswohnungsbau noch in keinem Bundesland flächendeckend eingeführt wurde. Die ermittelte Bio- und Grünabfallmenge von insgesamt 12 Mio. t<sub>FM</sub>/a liegt im Bereich der in Kapitel 2.1 ermittelten durchschnittlichen Potenziale und wird den weiteren Berechnungen hier zugrunde gelegt.

Das ungenutzte Bioreststoffpotenzial durch die Bio- und Grünabfallbehandlung stellt sich folgendermaßen dar:

- **Optimierung der Behandlung bisher erfasster Bioabfälle:**  
Umstellung der ausschließlich stofflich genutzten Menge der Bioabfälle durch Umstellung auf kombinierte energetisch-stoffliche Nutzung, durch vorschalten einer Vergärungsanlage. Hiermit kann ein Potenzial von ca. 3,7 Mio. t<sub>FM</sub> Bioabfall/a realisiert werden.
- **Zusätzlich zu erfassender Bioabfall:**  
Kombination der energetisch-stofflichen Nutzung der zusätzlich erfassten Bioabfallmenge in Höhe von 1,6 Mio. t<sub>FM</sub>/a.

---

<sup>7</sup> Insgesamt gilt, dass die Erfassung von Bio- und Grünabfall in den östlichen Bundesländern gering ausgeprägt ist.

<sup>8</sup> Diese Erfassungsmenge wird in Rheinland-Pfalz, Hessen und Schleswig-Holstein erreicht oder überschritten.

<sup>9</sup> Diese Erfassungsmenge wird in Bayern, Niedersachsen und im Saarland erreicht oder überschritten.

- **Optimierung der Behandlung der Grünabfälle und Erhöhung der Erfassung:**  
Nutzung des Gesamtpotenzials der Grünabfälle in einer stoffstromspezifischen Anlagenkombination, bei der das Grobkorn (ca. 25 %) der Menge verbrannt, das Mittelkorn (ca. 25 %) vergoren und das Feinkorn (ca. 50 %) kompostiert wird. Dadurch können als zusätzliches Nutzungspotenzial je ca. 1,5 Mio.  $t_{FM}$  Grünabfälle der Biogasproduktion in einer Vergärungsanlage und der thermischen Nutzung in einem Heizkraftwerk zugeführt werden.

### 3.2 Waldrestholz

Angesichts der oben dargestellten Probleme in Bezug auf die Potenzialerschließung und Darstellung der aktuellen Ausnutzung, basiert dieses Kapitel im wesentlichen auf den Annahmen der Studie „Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle“ [ifeu/ÖI 2006]. Einige aktuelle Daten zur Nutzung des Waldrestholzes wurden aber ergänzt, um die Dynamik auf diesem Markt darzustellen.

Abfälle aus der Holz- sowie der Papier- und Zellstoffindustrie werden heute bereits weitestgehend genutzt. Das Gleiche gilt für Altholz im Bereich der Abfallwirtschaft, dass seit der Einführung des EEG fast vollständig energetisch genutzt wird. Somit ergeben sich im Bereich der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft nur im Bereich des Schwach- und Waldrestholzes nennenswerte Potenziale<sup>10</sup>. Die sehr geringen Potenziale für Rinde werden nicht untersucht.

In der Forstwirtschaft könnten im Bereich des Stamm-<sup>11</sup> und Industrieholzes<sup>12</sup> noch erhebliche Potenziale zum überwiegend stofflichen Einsatz von Biomasse genutzt werden,

---

<sup>10</sup> Um Stoffströme mit unterschiedlichen Wassergehalten vergleichbar zu machen, werden alle Mengenangaben in  $t_{atro}$  (absolut trocken) abgegeben. Gebräuchlich sind in der Forst- und Holzwirtschaft außerdem die Angaben in  $t_{lutro}$  (lufttrocken) und FM (Festmeter).

<sup>11</sup> Rundholz, welches in Sägereien für die Herstellung von Schnittholz und in Furnierwerken für die Herstellung von Furnier Verwendung findet.

<sup>12</sup> Holz, das in Papierfabriken für die Herstellung von Zellstoff oder Holzstoff und in der Holzwerkstoffindustrie für die Herstellung von Span- oder Faserplatten und ähnlichen industriellen Holzprodukten verwendet wird.

die allerdings nicht in den Untersuchungsbereich dieser Studie zu Biomassereststoffen gehört.

Die bei der Bereitstellung von Stamm- und Industrieholz anfallenden Ernterückstände (Kronen, Äste etc.) werden als Waldrestholz bezeichnet. Schwachholz stammt aus Durchforstungsmaßnahmen. Bei der Ermittlung noch nutzbarer Potenziale wird davon ausgegangen, dass Schwachholz mit einem Mitteldurchmesser von mehr als 16 cm als Industrieholz in der Holz- und Papierindustrie stofflich genutzt wird während Schwachholz mit weniger 16 cm Mitteldurchmesser zur energetischen Nutzung zur Verfügung steht [BFH 2001, Öko-Institut 2004]. Letzteres wird im Folgenden als „sonstiges Schwachholz“ bezeichnet.

### 3.2.1 Derzeitige Nutzung

Waldrestholz und sonstiges Schwachholz werden nahezu ausschließlich für die energetische Nutzung in Form von Hackschnitzeln oder Scheitholz eingesetzt. Da keine aussagefähigen Statistiken über diese Nutzungen vorliegen, basiert die Ermittlung der Potenziale in diesem Bereich auf Abschätzungen und Hochrechnungen und ist unvermeidlich mit Datenunsicherheit verbunden. Als Hauptnutzungen von Waldrestholz und sonstigem Schwachholz werden die Wärmeerzeugung in privaten Haushalten, der Einsatz in Heizkraftwerken und der Energieeinsatz in Gewerbe, Dienstleistung, Handel bis 500 kW berücksichtigt.

Die **Wärmeerzeugung in privaten Haushalten** aus Holz hat in den letzten Jahren angesichts des hohen Ölpreises große Zuwächse zu verzeichnen: Hier wurden in Deutschland im Jahr 2002 8,3 Mio.  $t_{atro}$  Holz verbrannt, im letzten Jahr (2007) waren es dagegen bereits 12,9 Mio.  $t_{atro}$ . Der gesamte Absatz an Holzpellets ist dagegen gering: 2002 betrug er nur rund 77.000 t [IE 2004]<sup>13</sup>, letztes Jahr ist er signifikant auf 1,1 Mio t gestiegen, aber in Relation zur Scheitholz- und Hackschnitzelnutzung ist der Anteil immer noch gering.

In **Heizkraftwerken** wurden in 2002 etwa 318.000  $t_{atro}$  Holz aus der Forstwirtschaft verbrannt [IE 2004]. Im Bereich **Gewerbe, Dienstleistung und Handel bis 500 kW** in 2002 etwa 1,28 Mio  $t_{atro}$  Holz aus der Forstwirtschaft als Brennstoff eingesetzt, 74 % des

---

<sup>13</sup> Das Umweltbundesamt (UBA) geht im Rahmen der nationalen Emissionsberichtserstattung von einem Holzeinsatz in privaten Haushalten von knapp 10 Mio.  $t_{atro}$  aus.

Brennstoffsortiments dieser Anlagen besteht aus Waldhackschnitzeln [LWF 2004]. Für die aktuelle Nutzung in Heizwerken und im Gewerbe liegen keine Zahlen zum Zuwachs vor.

Insgesamt werden mindestens 14,5 Mio.  $t_{atro}$  Waldholz energetisch genutzt. Wie bereits erwähnt, werden hier neben Waldrestholz und sonstigem Schwachholz auch Brennholzsortimente eingesetzt, die in der Statistik dem Stamm- und Industrieholz zugeordnet werden. In der Studie ifeu/ÖI 2006 konnte angesichts umfangreicher Recherchen eine Differenzierung nach der Sortimentsherkunft des energetisch genutzten Waldholzes vorgenommen werden. Demnach stammten im Jahr 2002 1,5 Mio.  $t_{atro}$  von der Nachfrage nach Waldholz nicht aus Rest- und Schwachholz (=sonstige Brennstoffe). Die nachfolgende Tabelle stellt die Stoffströme zusammenfassend dar.

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

	<b>2007</b>	<b>2002</b>	<b>2002</b>
	<b>Trockenmasse 1.000 <math>t_{atro}</math></b>	<b>Trockenmasse 1.000 <math>t_{atro}</math></b>	<b>Heizwert PJ</b>
<b>Energetische Nutzung:</b>			
Private Haushalte	12.900	8.300	154
Heizkraftwerke	k.A.	318	6
Gewerbe, Dienstleitung, Handel bis 500 kW	k.A.	1.280	24
<b>Summe Verbrauch</b>		<b>9.898</b>	<b>184</b>
<b>Herkunft des Holzes:</b>			
Waldrestholz und sonstiges Schwachholz	k.A.	8.350	155
Sonstiges Brennholz	k.A.	1.548	29
<b>Summe Herkunft</b>		<b>9.898</b>	<b>184</b>

### 3.2.2 Potenziale

Für die Potenzialermittlung für Waldrestholz und sonstiges Schwachholz sind zahlreiche Annahmen zum aktuellen Bestand, Baumzusammensetzung, Wachstum u. ä. erforderlich [vgl. BFH 2001]. Insbesondere muss definiert werden bis zu welchem Brusthöhdurchmesser Schwachholz geschlagen wird. Der Potenzialabschätzung liegt als untere Grenze eine Nutzung ab einem Brusthöhdurchmesser von 16 cm, als obere Grenze ab 8 cm zu Grunde. Da die spezifischen Holzgewinnungskosten mit abnehmendem

Holzdurchmesser ansteigen, ist die Erschließung der oberen Potenzialgrenze mit höheren Kosten verbunden.

Weiterhin ist das Waldrestholz, das bei der Stammholzgewinnung als „Restholz“ anfällt, zu betrachten. Wird das gesamte Stamm- und Industrieholzpotenzial voll ausgeschöpft und das Waldrestholzpotenzial bereits ab einem UBHD von 8 cm mobilisiert,, können 16,6 Mio.  $t_{atro}$  genutzt werden [BFH 2001]. Die Potenziale des Waldrestholzes hängen aber auch wesentlich davon ab, welcher Einschlag von Stammholz bei einer nachhaltigen Waldwirtschaft möglich ist [Öko-Institut 2004].

Legt man der Bilanz die Kriterien für eine nachhaltige Forstwirtschaft wie naturnahe Waldgesellschaft, standortgemäße Baumarten, erhöhte Mischung, erhöhter Struktur-reichtum, Schutzzonen, Verbleib von Totholz im Wald, Verbleib von Laub im Wald, schonende Holztechnik u. ä. zu Grunde<sup>14</sup> und berücksichtigt, dass das Stamm- und Industrieholzpotenzial nur zu einem Anteil von etwa 77 % ausgeschöpft wird, reduziert sich das theoretische Potenzial um etwa 4,1 Mio.  $t_{atro}$  und man erhält das technisch-ökologische Potenzial von ca. 12,5 Mio.  $t_{atro}$  (vgl. Tabelle 5). Unterstellt man dagegen eine vollständige Mobilisierung des Stamm- und Industrieholzpotenzials, steigt das technisch-ökologische Potenzial auf 14,9 Mio.  $t_{atro}$  an [Ifeu/ Öko-Institut 2006].

---

<sup>14</sup> Nach den Zielsetzungen des nationalen Waldprogramms [BMELF 2000] und den Nachhaltigkeitskriterien des FSC [FSC 2001] und PEFC [PEFC 2000; 2003a]

Tabelle 5: Verschiedene Potenzialabschätzungen für Waldrestholz und sonstiges Schwachholz aus [Ifeu/ Öko-Institut 2006] nach [BFH 2001] und [Öko-Institut 2004] – Unter der Annahme, der 100%igen Mobilisierung von Waldrestholz

	Jahr	UBHD	Mobilisierung		Anteil nachhaltiger Waldwirtschaft	Potenzial
			Stamm- & Industrieholz	Waldrestholz		
		cm	%	%	%	Mio. t <sub>atro</sub>
<b>Oberes Potenzial nach [BFH 2001]</b>	2005	8	94%	100%	ca. 31 %*	16,6
<b>Unteres Potenzial nach [BFH 2001]</b>		16	77%	100%		13,8
<b>Mittelwert verschiedener Studien (s. Potenzialübersicht dieser Studie)</b>	2005	8-16	77%-100%	100%	---	12,7
<b>Szenario „Biomasse aus nachhaltiger Waldwirtschaft“</b>	2010	8	100%	100%	60 %	14,9
	2010	8	77%	100%	60 %	12,4
	2030	8	77%	100%	80 %	12,5

UBHD = untere Brusthöhendurchmesser, \* Status Quo in 2000 nach [PEFC 2003a]

Die folgende Tabelle stellt die ungenutzten Potenziale für Waldrestholz zusammen. Die Daten beziehen sich auf das Jahr 2002. Eine Aktualisierung konnte im Rahmen dieser Studie nicht vorgenommen werden, da es keine bundesweit verfügbaren Zahlen über die Herkunft aus den einzelnen Holzsortimenten gibt.



Tabelle 6: Zusammenstellung der ermittelten Potenziale in der Forstwirtschaft in 2002 für Waldrestholz und sonstiges Schwachholz (BHD > 8cm) bei unterschiedlichen Mobilisierungsgraden

	<b>bei Mobilisierungsgrad des Stamm- und Industrie- holzpotenzials von:</b>	<b>Theoretisches noch nicht genutztes Potenzial  Mio. t<sub>atro</sub></b>	<b>Technisch- ökologisches noch nicht genutztes Potenzial  Mio. t<sub>atro</sub></b>
<b>WRH und sSH</b>	<b>93,7 %</b>	<b>8,3</b>	<b>6,6</b>
<b>WRH und sSH</b>	<b>69,8 %</b>	<b>5,8</b>	<b>4,1</b>
Stamm- und Industrieholz		11,7	9,4

WRH: Waldrestholz, sSH: sonstiges Schwachholz

Das nicht genutzte theoretische Potenzial von 8,3 Mio. t<sub>atro</sub> errechnet sich aus dem Gesamtpotenzial von 16,6 Mio. t<sub>atro</sub> abzüglich der 8,3 Mio. t<sub>atro</sub> die im Jahr 2002 schon genutzt werden (vgl. Tabelle 5) Die nicht genutzten technisch-ökologischen Potenziale betragen je nach Ausschöpfung des Stamm- und Industrieholzpotenzials 4,1 bzw. 6,6 Mio. t<sub>atro</sub>.

### 3.3 Stroh

Mit einer Anbaufläche von 6,6 Mio. ha (entspricht 55,4 % des Ackerlands) ist Getreide die wichtigste landwirtschaftliche Anbaugruppe in Deutschland. Da nur der Kornertrag statistisch erfasst wird, wird der Strohertrag daraus abgeleitet. Daher schwanken die Angaben für die Gesamtmenge des Strohs<sup>15</sup> zwischen rund 36 Mio. tFM/a [Öko-Institut 2004], 38 Mio. tFM/a [Kaltschmitt 2003] und 43 Mio. tFM/a [Leible et al. 2003].

Da das Stroh betriebsintern als Stalleinstreu, Tierfutter und organischer Dünger benötigt wird, kann nur ein Teil des Strohaufkommens außerhalb der Landwirtschaft genutzt werden.

---

<sup>15</sup> Die Angabe bezieht sich auf den abgeschnittenen Halm. Stoppelstroh und unterirdische Pflanzenteile sind in der Angabe nicht enthalten.

Hierzu gehören bisher vor allem Gärtnereien, die Stroh als Bodenverbesserer verwenden. Die Nutzung als Baumaterial und Brennstoff findet dagegen bisher nur in Nischen statt. Die derzeitige energetische Nutzung von Stroh beschränkt sich auf einige ältere Strohheizungen und die Mitverbrennung von Stroh in Großkraftwerken (0,21 Mio.  $t_{FM}/a$  laut IE [2003]). In EEG-vergüteten Anlagen wird Stroh aktuell nicht verbrannt [IE 2008].

Über die derzeitige Nutzung des Strohs liegen keine Statistiken vor, so dass nur auf Abschätzungen zurückgegriffen werden kann: Die Nutzung als Stalleinstreu wird auf 8,45 Mio.  $t_{FM}/a$  (Rinder und Schweine) geschätzt, der *Bedarf* als Bodenverbesserer auf 22,9 Mio.  $t_{FM}/a$  [Öko-Institut et al. 2004]. Zum Vergleich: Leible et al. [2003] geben einen landwirtschaftlichen Strohbedarf von 10,8 Mio.  $t_{FM}/a$  an (Einstreu und Futter) und gehen davon aus, dass 31,9 Mio.  $t_{FM}/a$  auf dem Feld verbleiben.

Das theoretische Strohpotenzial entspricht dem gesamten Stoffstrom Stroh von 36,01 Mio.  $t_{FM}/a$  (bzw. 30,97 Mio.  $t_{TM}/a$ ). Unter der Annahme von technischen und ökologischen Restriktionen liegt das Potenzial aber geringer. Zwingende Restriktionen bilden der innerbetriebliche Erhalt der Nährstoffkreisläufe und der Stalleinstreubedarf. Weitere Restriktionen bilden Ernteverluste durch feuchte Witterung oder Erschließungsprobleme angesichts weiter Transportwege oder unzureichender Logistik [Thrän 2002]. Daher werden zunächst der Strohbedarf für Stalleinstreu und Bodeneinarbeitung vom theoretischen Potenzial abgezogen. Angesichts der erwähnten Erschließungsrestriktionen wird davon ausgegangen, dass nur etwa 90 % des verbleibenden Strohs vom Acker geborgen werden, vergleiche Tabelle 7.

Tabelle 7: Potenzialabschätzung für Getreidestroh für das Jahr 2000 Quellen: [Öko-Institut et al. 2004] und \*[IE 2003]

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

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

Vom technisch-ökologischen Potenzial werden derzeit durch die Strohmitverbrennung etwa 5 % genutzt. Damit stehen jährlich noch 3,98 Mio. t Frischsubstanz für eine energetische (oder stoffliche) Nutzung zur Verfügung. Das entspricht einem Energiepotenzial von 56,1 PJ/a. Zukünftig kann der Wert durch sinkende Nachfrage nach Stroh zur Einstreu noch leicht ansteigen<sup>16</sup>.

### 3.4 Gülle

In Deutschland fallen jährlich große Mengen Festmist und Gülle in der Tierhaltung an, die direkt oder nach einer Vergärung auf landwirtschaftlichen Flächen als Wirtschaftsdünger ausgebracht werden. Die anfallende Menge an Tierexkrementen wird in keiner Statistik erhoben, aber es gibt statistische Zahlen zu den gehaltenen Tieren (nach Tierart und Alter) sowie zu den Haltungsverfahren (v.a. Aufstallungsarten). Mit Hilfe dieser Größen haben in

<sup>16</sup> Der Bedarf sinkt angesichts zurückgehender Tierbestände und zunehmender Anteile an Flüssigmist in der Tierhaltung

der Vergangenheit verschiedene Studien den Anfall an Festmist und Gülle hochgerechnet<sup>17</sup>  
 In Tabelle 8 sind die Daten von ifeu/Öko-Institut [2006] im Vergleich dargestellt.

Tabelle 8: Vergleich der Daten zum Wirtschaftsdüngeranfall dreier Studien Angaben in Frischmasse  
 (Quellen: Öko-Institut, 2004; Schwab/KTBL, 2004; Leible et al., 2003)

Gülle & Festmist	Wirtschaftsdünger in 1.000 t <sub>FM</sub> /a		
	Öko-Institut	KTBL	Leible et al.
Rinder	134.563	120.800	170.800
Schweine	32.889	80.600	44.000
Geflügel	7.009	k.A.	2.800
Pferde	7.205	k.A.	5.000
Schafe und Ziegen	964	k.A.	1.300
<b>Summe Gülle &amp; Festmist</b>	<b>182.629</b>	<b>201.400</b>	<b>221.000</b>
<b>davon Gülle</b>	<b>150.522</b>	---	---
<b>davon Festmist</b>	<b>32.108</b>	---	---
Δ Öko-Institut et al. 2004	---	<b>+ 10,3%</b>	<b>+21,0%</b>

Ursache für die breiten Spannen liegen in den großen Unsicherheiten für den Wirtschaftsdüngeranfall je nach Tierart und Stallsystem sowie unterschiedlicher Strohgaben und Trockenmassegehalte bei Festmistsystemen<sup>18</sup>. Vor diesem Hintergrund werden für die weitere Betrachtung die Daten von Öko-Institut et al. 2004 gewählt, da diese auf konservativen Annahmen beruhen, um Überschätzung des Energiepotenzials aus Gülle zu vermeiden. Angesichts der unsicheren Datenbasis wurden daher keine weiteren Anpassungen oder Aktualisierungen im Rahmen dieser Studie vorgenommen.

<sup>17</sup> Beispielsweise ermittelt das Modell HEKTOR/Augias das Festmist- und Güllepotenzial und schließlich das Biogaspotenzial aus Tierzahlen für Rinder, Schweine und Geflügel, die in Deutschland gehalten werden. Eine detaillierte Methodenbeschreibung ist unter [Öko-Institut 2004, Anhangsband] und [Simon et al. 2005] nachzulesen.

<sup>18</sup> Nach Bergschmitt [2004] sind selbst direkte Datenerhebungen in den Betrieben mit so großen Unsicherheiten behaftet, dass unter Umständen eine Berechnung des Wirtschaftsdüngeraufkommens anhand der Tierbestände keine schlechteren Ergebnisse liefert.

Das theoretische Festmist und Güllepotenzial entspricht dem gesamten anfallenden Substrat. Bei der Nutzung von Mist und Gülle gibt es auch Restriktionen: Sind anfallenden Mengen zu gering und zu weit von einander entlegen, rentiert sich keine Anlage (was streng genommen das ökonomische Potenzial kennzeichnet). Um das Potenzial nicht zu überschätzen, werden für das technisch-ökologische Potenzial nur Wirtschaftsdünger von Betrieben mit mindestens 50 Großvieheinheiten berücksichtigt<sup>19</sup>. Das Biogaspotenzial wird schließlich mit Hilfe substratspezifischer Gasausbeuten aus dem Potenzial an Gülle und Festmist ermittelt<sup>20</sup>, siehe Tabelle 9.

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

		<b>Wirtschaftsdünger</b>	<b>Anteil vom theoretischen Potenzial</b>
Theoretisches Potenzial	Mio. t <sub>FM</sub>	182,6	100%
Technisch-ökologisches Potenzial	Mio. t <sub>FM</sub>	166,2	91%
genutztes technisch-ökologisches Potenzial	Mio. t <sub>FM</sub>	10,9	6,0% (bzw. 6,5% vom technisch-ökologischen Potenzial)
nicht genutztes technisch-ökologisches Potenzial	Mio. t <sub>FM</sub>	155,3	93,45% (bzw. 92,8% vom technisch-ökologischen Potenzial)
	PJ	93,52 (Heizwert Biogas)	
	PJ	32,78 (Stromproduktion Biogas)	

Derzeit wird nur ein geringer Anteil der verfügbaren Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen vergoren. Mit der Einführung des EEG im Jahr 2000 stieg zwar zunächst die Zahl der Biogasanlagen die überwiegend Gülle vergären, doch durch die Einführung des Nawaro-Bonus im Jahr 2004 hat sich Biogasbranche von der nahezu ausschließlichen Verwertung von Rückständen, Nebenprodukten und/oder Abfällen ganz deutlich hin zum Einsatz von Anbaubiomasse entwickelt. Um die vorhandenen Reststoffe für eine Vergärung aber wieder

<sup>19</sup> Das entspricht 50 Rindern oder 100 Schweinen

<sup>20</sup> substratspezifischer Gasausbeuten für Rindergülle: 26 m<sup>3</sup>/t<sub>FM</sub>, Schweinegülle: 36 m<sup>3</sup>/t<sub>FM</sub>, Geflügelgülle: 67 m<sup>3</sup>/t<sub>FM</sub>, Festmist: 50 m<sup>3</sup>/t<sub>FM</sub> [IE 2003a]

ökonomisch attraktiver zu machen, ist für die Novelle des EEG ab Januar 2009 die Zahlung eines Güllebonus vorgesehen.

Angesichts dieser Entwicklungsdynamik werden für die Biogasnutzung die Zahlen aus dem jüngsten Biomasse-Monitoring von 2007 herangezogen [IE 2008]. Die Masse der vergorenen Tierexkrementen wird nicht vom Monitoring erfasst, doch kann sie überschlägig ermittelt werden: Knapp 10 % der Energie stammte 2007 aus Gülle, das entspricht ca. 12 Mio. t/a an Gülle und Festmist. Damit werden aktuell gut 6,5 % des technisch-ökologischen Güllepotenzials in einer Biogasanlage vergoren, s. Tabelle 9.

## 4 Nutzungsszenarien

### 4.1 Szenarien Bioabfall

Bei der Ermittlung der Klimaschutzpotenziale ist zum einen zwischen Grün- und Bioabfällen und zum anderen zwischen dem heute schon für die Kompostierung genutzten Potenzial und dem zusätzlich erfassbaren Potenzial zu unterscheiden. Bio- und Grünabfälle werden in getrennten Szenarien betrachtet.

Für den Bioabfall werden die Treibhausgasemissionen von drei verschiedenen Szenarien betrachtet, einem Ist-Szenario (Szenario I) und zwei Zukunftsszenarien (Szenario Z 1 und Z 2). Hierzu wird die heutige Situation den Zukunftsszenarien gegenüber gestellt. Dabei gehen beide Zukunftsszenarien von gleichen Bedingungen für die Abfallbehandlung aus, unterscheiden sich aber hinsichtlich der Nutzung des entstandenen Biogases (s.u.).

Die heutige Situation kann wie folgt beschrieben werden:

- Kompostierung von ca. 3,7 Mio. t Bioabfall und Nutzung des Kompostes als organischer Dünger,
- Vergärung mit Nachrotte von ca. 0,4 Mio. t Bioabfall und Nutzung des Gärrests als organischer Dünger,
- Verbrennung des nicht getrennt erfassten Potenzials von 1,6 Mio. t Bioabfall in der MVA, mit der Bereitstellung von Strom und Wärme nach dem Leistungsstand der durchschnittlichen deutschen MVA.

Die Zukunftsszenarien gehen beide von einer Mobilisierung des verbleibenden Potenzials und von einer Nachrüstung der Kompostierungsanlagen durch eine Vergärungsstufe aus:

- Vergärung mit Nachrotte von ca. 5,8 Mio. t Bioabfall und Nutzung des Gärrests als organischer Dünger.

Es werden die bestehenden Kompostierungsanlagen um eine intensive Vergärung ergänzt, bilanziert am Beispiel einer kontinuierlichen Trockenvergärung. Dadurch ist bereits der größte Teil der Kapazitätsausweitung für die zusätzlich erfasste Menge von 1,6 Mio. t/a abgedeckt. Für die darüber hinausgehenden Anlagen werden die Rottekapazitäten dieser Anlagen ebenfalls erweitert oder weitere Anlagen der entsprechenden Technik gebaut.

Die Nutzung des Biogases wird in zwei Unterszenarien bilanziert:

- In Szenario Z 1 wird das Biogas in einem BHKW genutzt und Strom und Wärme bereitgestellt.
- In Szenario Z 2 wird das Biogas zu Erdgasqualität aufbereitet und in das Gasnetz eingespeist und in ein BHKW geleitet.

Die Bilanz berücksichtigt auch, dass durch das gewonnene Biogas Energie aus dem heutigen Strom- und Wärmemix substituiert wird. Die Annahmen für die Substitution werden in Kapitel 4.1.2 beschrieben. Neben der energetischen Nutzung des Biogases wird die stoffliche Nutzung des Gärrestes als organischer Dünger bilanziert. Die Annahmen sind in Kapitel 4.1.2 dargestellt.

Die Aufwendungen für Sammlung und Transporte werden berücksichtigt.

#### **4.1.1 Behandlungsschritte**

##### **Kompostierung**

Bei der Kompostierung ergibt sich eine zusätzliche Belastung durch THGE<sup>21</sup>, die durch die direkten Luftemissionen aus der Kompostierung, dem Dieselverbrauch durch den

---

<sup>21</sup> THGE - Treibhausgasemissionen

Radladerbetrieb sowie den indirekten Emissionen, die mit dem Energiebedarf verbunden sind, verursacht werden. Bilanziert wird eine geschlossene Kompostierung mit einem relativ hohen Strombedarf von 53,7 kWh/t Bioabfall und einem Dieserverbrauch von 0,4 l/t. Als direkte Emissionen gehen Methan (CH<sub>4</sub> 280 g/t) und Lachgas (N<sub>2</sub>O 30 g/t) als THGE in die Bilanz ein.

Für die stoffliche Verwertung werden je t Bioabfall 383 kg Kompost produziert.

### **Vergärung**

Zur Vergärung von Bioabfällen kommen neben der Nassvergärung zunehmend auch Trockenvergärungsanlagen zum Einsatz. Bei den Trockenvergärungsanlagen kann zwischen den kontinuierlichen und diskontinuierlichen Anlagen unterschieden werden. Hohe Gaserträge werden insbesondere in den intensiven und aufwendigen Anlagen der Nass- und der kontinuierlichen Trockenvergärung erzielt. Die Bilanz wird hier am Beispiel der kontinuierlichen Trockenvergärung durchgeführt. Da die Klimabilanz der Bioabfallvergärung maßgeblich durch den Gasertrag beeinflusst wird, schneiden Verfahren mit vergleichbarem Gasertrag bezüglich ihrer Auswirkungen auf das Klima nahezu gleich ab. Deshalb gelten die Ergebnisse für alle technisch hochwertigen Vergärungsverfahren.

Die Biogasausbeute in der kontinuierlichen Trockenvergärung liegt bei etwa 120 Nm<sup>3</sup> Biogas je t Bioabfall. Bei einem durchschnittlichen Methangehalt von 55 % entspricht dies einem Energieinhalt von etwa 660 kWh. Diese Primärenergie kann in einem BHKW genutzt oder weiter aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist werden.

Der Bedarf an Strom und Wärme in der Vergärungsanlage wird aus dem nach geschalteten BHKW gedeckt.

### **BHKW**

Im BHKW kann das Gas nach Entschwefelung genutzt werden. Die eingesetzte Primärenergie kann zu 37 % in Strom und zu 46 % in Wärme umgewandelt werden.

### **Gaseinspeisung**

Sind an dem Standort der (schon vorhandenen) Kompostierungsanlage keine Wärmesenken vorhanden, kann das Gas durch eine Aminwäsche soweit aufbereitet werden, dass die Einspeisung in das Erdgasnetz möglich ist und damit ein BHKW (siehe oben) an einem



günstigen Standort mit Wärmeabnehmer versorgt wird. Das dort entnommene Gas entspricht zwar nur „virtuell“ dem eingespeisten Biogas, aber wie bei „Öko-Strom“ ist diese Verrechnung nach dem EEG zulässig. Hierbei sind die damit verbundenen Methanemissionen und der weitere Energieaufwand zu berücksichtigen.

#### **4.1.2 Substitution**

##### **Düngewert**

Für den Bioabfallkompost der gezielt in der Landwirtschaft eingesetzt wird, können die Kompostnährstoffe Stickstoff, Phosphat, Kalium, Magnesium und Calcium gutgeschrieben werden. Für den eingesparten Mineraldünger mit demselben Nährstoffgehalt können 18,4 kg CO<sub>2</sub>/t Bioabfall gut geschrieben werden [Öko-Institut 2008].

Aber auch der Gärrest kann als organischer Dünger genutzt werden. Hierzu wird der Gärrest in der Nachrotte kompostiert. Gutgeschrieben wird der Düngewert des Kompostes und der abgetrennten Gärflüssigkeit, die ebenfalls als Flüssigdünger genutzt wird. Hierzu wird der Aufwand bei der Herstellung mineralischer Dünger bilanziert, die durch die Nutzung des Komposts bzw. der Gärreste substituiert werden.

Unter der Annahme, dass neben dem festen auch der flüssige Gärrest für die Düngung eingesetzt wird, kann der gleiche Düngewert auch bei den kombinierten Vergärungs-Kompostierungsverfahren angesetzt werden. Bezüglich der 4,1 Mio. t Bioabfall die heute schon getrennt erfasst und kompostiert werden, ergibt sich bezüglich der Düngewirkung keine Veränderung gegenüber dem Ist-Zustand.

##### **Energiesubstitution**

Für die Energie aus der Biogasnutzung wird für das BHKW Strom und Wärme gutgeschrieben. Für Stromgutschrift wird der deutsche Strom-Mix aus nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen, für Wärme jeweils zur Hälfte Gas- und Ölheizung gutgeschrieben. Die Verluste im Fernwärmenetz werden mit 10 % angesetzt.

#### **4.1.3 Bilanzergebnisse für die Bioabfall-Szenarien**

Die Darstellung der Bilanzergebnisse erfolgt anhand spezifischer Faktoren für CO<sub>2</sub>-Äquivalente für die einzelnen Behandlungsschritte (Kompostierung mit Kompostverwertung, Vergärung mit Biogas- und Gärrestverwertung, Verbrennung in der MVA) die auf den Einsatz von Bioabfall bezogen sind und mit den entsprechenden Mengen in den Szenarien

verrechnet werden. Alle Aufwendungen beispielsweise für Sammlung und Transporte sind berücksichtigt.

Negative Vorzeichen bezeichnen eine Umweltentlastung, positive eine zusätzliche Umweltbelastung.

Tabelle 10 zeigt das Klimaschutzpotenzial, dass durch die Behandlung der Bioabfälle im Ist-Zustand bereits realisiert wird.

Tabelle 10: Ergebnisse für das Ist-Szenario Bioabfall (die spezifischen Faktoren sind auf eine t Bioabfallinput bezogen)

	spezifischer Faktor	Mengen	Gesamtpotenzial
	kg CO <sub>2eq</sub> /t	1.000 t	t CO <sub>2eq</sub>
<b>Kompostierung</b>	53	3.708	197.134
<b>Vergärung (BHKW)</b>	-239	412	-98.645
<b>MVA</b>	-71	1.648	-116.295
<b>Summe</b>		<b>5.768</b>	<b>-17.807</b>

Tabelle 11 zeigt die Potenziale die durch eine Ausweitung der Erfassungsquote und die Ergänzung der Bioabfallbehandlung um eine Vergärungsstufe erreichbar sind. Unterschieden wird zwischen der Nutzung des Biogases in einem BHKW und die Einspeisung in das Erdgasnetz nach weitergehender Aufbereitung [vgl. Öko-Institut 2008].

Tabelle 11: Ergebnisse für die Zukunftsszenarien Bioabfall (die spezifischen Faktoren sind auf eine t Bioabfallinput bezogen)

	spezifischer Faktor	Mengen	Gesamtpotenzial
	kg CO <sub>2eq</sub> /t	1.000 t	t CO <sub>2eq</sub>
<b>Kompostierung</b>	53	0	0
<b>Vergärung (BHKW)</b>	-239	5.768	-1.381.035
<b>Vergärung (Gaseinspeisung-BHKW)</b>	-205	5.768	-1.182.440
<b>MVA</b>	-71	0	0
<b>Summe (BHKW)</b>		<b>5.768</b>	<b>-1.381.035</b>
<b>Summe (Gaseinspeisung)</b>		<b>5.768</b>	<b>-1.182.440</b>

Aus der Bilanz ergeben sich - in Abhängigkeit der Gasnutzung – zusätzliche Einsparungspotenziale zwischen 1,16 Mio. und 1,36 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Zur Nutzung des Biogases sind weitere Lösungen denkbar, die bezüglich der Klimabilanz zwischen diesen beiden Szenarien angesiedelt sind. So kann beispielsweise bei geeigneten Rahmenbedingungen der Aufbereitungsaufwand reduziert werden, wenn in eigens dafür vorgesehenen Gasnetzen die direkte Zuleitung des Biogases zu einem BHKW möglich ist.

Vorliegende Ökobilanzen zeigen, dass die betrachteten Szenarien auch bei anderen Umweltkriterien wie Versauerung, Eutrophierung und Feinstaubemissionen zu einer weitergehenden Entlastung führen [vgl. IFEU/ Öko-Institut 2006, Öko-Institut et al. 2008].

## **4.2 Szenarien Grünabfall**

Bei der Bilanz zu den Klimaschutzpotenzialen bei der energetischen Nutzung von Grünabfällen ist zu beachten, dass die zusätzlich erfassten Grünabfallmengen überwiegend nicht der Müllverbrennung entzogen, sondern neu in das Abfallregime aufgenommen werden. Die heutige Nutzung führt noch zu Zusatzbelastungen, da der bereitgestellte Düngewert den Aufwand der Erfassung und Behandlung nicht ganz ausgleichen kann [Öko-Institut et al. 2008]. Die zusätzliche Erfassung von Grünabfällen führt deshalb erst dann zu einer Einsparung von THGE, wenn gleichzeitig eine Umstellung der Behandlung erfolgt.

### **4.2.1 Behandlungsschritte**

Seit kurzem wird die stoffstromspezifische Auftrennung und Behandlung des Grünabfalls in zwei oder drei Fraktionen geplant und umgesetzt. Der folgenden Bilanz wird die dreistufige Trennung unterstellt, in der nach einer Zerkleinerung die Auftrennung in die Fraktionen Fein-, Mittel- und Grobkorn erfolgt. Es wird ein Szenario betrachtet, in dem die dreistufige Trennung der heutigen Kompostierung gegenüber gestellt wird. Außerdem wird eine gesteigerte Erfassung von Grünabfällen zugrunde gelegt.

#### **Feinkornverwertung**

Die Feinkornfraktion macht etwa 50 % der Grünabfälle aus. Aufgrund des relativ hohen Aschegehaltes und des relativ geringen oTS-Gehaltes, der mit einem niedrigen Heizwert korreliert, eignet sich das Feinkorn nur für die stoffliche Verwertung im Rahmen der Kompostierung. Das Aufbereiten des Grüngutes (Schreddern und Fraktionieren) und das Kompostieren des Feinkorns sind mit einem energetischen Aufwand von etwa 0,5 kWh Strom und 5,5 Liter Kraftstoff je Tonne Grüngut verbunden. Je t behandeltes Material

entstehen 516 kg Kompost, der in der Landwirtschaft als Ersatz für Mineraldünger eingesetzt wird [Öko-Institut et al. 2008].

### **Mittelkornverwertung**

Im Mittelkorn sind verstärkt krautige und blattreiche Anteile enthalten, die an den Grünabfälle etwa einen Anteil von 25 % darstellen. Die organische Substanz des Mittelkorns ist relativ feucht und kann unter anaeroben Bedingungen relativ gut abgebaut werden. Wie Ergebnisse aus der Praxis zeigen, können etwa 95 Nm<sup>3</sup> Biogas aus dem Mittelkorn gewonnen werden.

Die Gärrückstände zur landwirtschaftlichen Verwertung setzen sich aus etwa 465 kg fester und 210 l flüssiger Gärrückstände je behandelter Tonne Grünabfall zusammen [Öko-Institut et al. 2008]. Die Vergärung der Mittelfraktion kann zusammen mit dem Bioabfall erfolgen.

### **Grobkornverwertung**

Zur energetischen Verwertung eignen sich insbesondere die holzigen und relativ inertstoffarmen Grobstoffe (ca. 25 % der Grünabfälle) [Pretz 2005, Kranert/Gottschall 2007, Öko-Institut et al. 2008]. Aus vergleichsweise trockenen Grüngutchargen (Winter und Frühjahr) können Körnungen ab 20 mm Partikelgröße verwertet werden. Bei feuchteren Chargen (Sommer und Herbst) eignen sich nur größere Körnungen (> 30 bis 40 mm) für die direkte Verwertung in Form von Frischmasse.

Aus der Grüngutfraktion lässt sich ein Brennstoff gewinnen, der aufgrund eines geringen Schadstoffgehaltes u. a. dezentralen Anlagen genutzt werden kann, zur reinen Wärme- oder zur kombinierten Wärme- und Stromgewinnung oder als Beimischung in Holz-Heizkraftwerken. In allen Fällen kann ein hoher Wirkungsgrad der eingesetzten Energie realisiert werden.

Die Bilanz beruht auf der Annahme einer Mitverbrennung in einem Holz-Heizkraftwerk, wie es im Kapitel „Waldrestholz“ beschrieben wird.

#### **4.2.2 Bilanzergebnisse für das Grünabfall-Szenario**

Tabelle 12 zeigt die Belastung an THGE durch die derzeitige Kompostierung von Grünabfällen.

Tabelle 12: Ergebnisse für das Ist-Szenario Grünabfall

	spezifischer Faktor	Mengen	Gesamtpotenzial
	kg CO <sub>2eq</sub> /t	1.000 t	t CO <sub>2eq</sub>
<b>Kompostierung</b>	<b>40</b>	<b>4.120</b>	<b>166.205</b>

Tabelle 13 zeigt die Potenziale die durch eine Ausweitung der Erfassungsquote und die Umstellung der Grünabfallkompostierung in eine stoffstromspezifische Grünabfallbehandlung [vgl. Öko-Institut et al. 2008].

Tabelle 13: Ergebnisse für das Zukunftsszenario Grünabfall

	spezifischer Faktor	Mengen	Gesamtpotenzial
	kg CO <sub>2eq</sub> /t	1.000 t	t CO <sub>2eq</sub>
<b>Sammlung, Transporte</b>	14	6.180	84.790
<b>Vorbehandlung inkl. Kompostierung</b>	38	6.180	234.284
<b>Vergärung - BHKW (Mittelkorn)</b>	-233	1.545	-360.727
<b>Biomasse-HKW (Grobkorn)</b>	-742	1.545	-1.146.529
<b>Düngegutschrift (Fein- und Mittelkorn)</b>	-16	4.635	-75.534
<b>Summe</b>		<b>6.180</b>	<b>-1.272.973</b>

Aus der Bilanz ergibt sich als zusätzliches THG-Einsparpotenzial durch die stoffstromspezifische Grünabfallbehandlung, im Zusammenhang mit einer Ausweitung der getrennten Erfassung etwa 1,44 Mio. t CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.3 Fazit

Durch die vollständige Erfassung und Optimierung der Behandlung von Bio- und Grünabfällen lässt sich ein Einsparungspotenzial von 2,60 Mio. bis 2,80 Mio. t CO<sub>2</sub>/a realisieren.

### 4.3 Szenarien Waldrestholz

Zur Ermittlung der Klimaschutzpotenziale durch die Nutzung des Waldrestholzes und des Schwachholzes werden folgende zwei Szenarien betrachtet:

- Substitution von Sägespänen in der Holzwerkstoffindustrie durch Waldrestholz und Schwachholz. Die Sägespäne werden zur Herstellung von Holzpellets genutzt, die für

Feststoffheizungen in Ein- und Zweifamilienhäusern eingesetzt und ersetzen dort Öl- und Gasheizungen.

- Der direkte Einsatz von Waldrestholz und Schwachholz in Holz-Heizkraftwerken.

#### 4.3.1 Substitution von Sägespänen (Szenario 1)

Derzeit werden die Sägespäne aus Sägewerken noch zu einem großen Anteil in der Holzwerkstoffindustrie verwertet. Die Holzwerkstoffindustrie verwendet zugleich große Mengen von Waldholz und könnte die Sägespäne ohne große technologische Umstellung durch Waldholz substituieren. Für die Sägespäne wiederum steht mit den Pellet-Kleinf Feuerungen ein möglicher Abnehmer zur Verfügung, der über keine anderen Substitutionsmöglichkeiten verfügt. Nur mit Pelletheizungen kann die Nachfrage nach automatisierten Feststofffeuerungen auf Basis erneuerbarer Rohstoffe in Ein- bis Zweifamilienhäusern gedeckt werden, so dass der Einsatz von Waldholz mit einer Verlagerung der Stoffströme folgendermaßen gesteigert werden könnte: Die Sägespäne aus der Sägeindustrie werden nicht mehr in der Holzwerkstoffindustrie verwertet, sondern annähernd vollständig zur energetischen Nutzung in Form von Pellets genutzt. Hierbei werden in Ein- bis Zweifamilienhäusern Gas- oder Ölheizungen ersetzt. Zugleich steigert die Holzwerkstoffindustrie ihren Waldholzeinsatz, um ihren Rohstoffbedarf zu decken.

### Sachstand/Grundlagen

#### Aufkommen an Sägespänen und Sägemehl

In Deutschland sind 2002 etwa 5,8 Mio.  $t_{\text{atro}}$  Sägenebenprodukte angefallen, die annähernd vollständig genutzt wurden [Mantau 2002]. Rund ein Drittel der Sägenebenprodukte fallen in Form von Sägemehl und Sägespänen an<sup>22</sup>, die für die Pelletproduktion genutzt werden können. Der Rest fällt als gröberes Material in Form von Hackschnitzeln oder Kappstücken an und ist ohne weitere Zerkleinerungsschritte für die Pelletproduktion nicht geeignet. Damit liegt das für die Pelletproduktion geeignete Aufkommen an Sägemehl und Sägespänen in der Größenordnung von 2,0 Mio.  $t_{\text{atro}}$ . Hauptabnehmer des Sägemehls und der Sägespäne ist derzeit die Holzwerkstoffindustrie. Nach [Mantau 2002] geht nur ein kleiner Anteil des Sägemehls und der Sägespäne von rund 4 % in die Holzschliff- und Zellstoffindustrie, die aus technologischen Gründen vor allem Hackschnitzel einsetzt. In die Energieerzeugung

---

<sup>22</sup> Nach Mantau 2002 fallen bei Nadel- 34%, bei Laubholz 40% des Holzinputs als Sägespäne und -mehl an.

gingen in 2001 nach [Mantau 2002] nur rund 1 % der Sägespäne und Sägemehle. Heute erfolgt dagegen der Großteil der Pelletproduktion auf der Basis von Sägenebenprodukten (Sägemehl und Sägespänen) [BBE 2008] oder zunehmend auch Rundholz [German Pellets 2008].

### Entwicklung des Pelletmarkts

Die Produktion von Pellets ist in Deutschland in den vergangenen Jahren rasant angestiegen: Von 3.370 t in 2000, auf 225.200 t in 2005 und schließlich 1,1 Mio. t in 2007 [DEPV 2008]. Demgegenüber standen ein Absatz von rund 330.000 t in 2005 und ein Import von rund 29 % des Pelletbedarfs [Fischer 2005]. Die Produktionsausweitungen haben dazu geführt, dass seit 2006 die Produktion über dem inländischen Verbrauch liegt [Lenz 2008].

Parallel dazu ist auch die Zahl der installierten Anlagen von 3.000 (in 2000) auf 44.000 (2005) und schließlich 83.000 im Jahr 2007 angestiegen. Gefördert werden derzeit Neuanlagen mit einer Leistung bis 100 kW [BAFA 2005]. Damit richtet sich die Förderung an die Hauptzielgruppe für eine Erweiterung des Pelletmarkts, die Eigentümer von Ein- bis Zweifamilien-Häusern. Für Häuser in dieser Größenordnung gibt es im Bereich der Holzfeuerungen keine alternativen Anlagenkonzepte mit einer vollautomatischen Beschickung. Damit ist die Pelletheizung für kleine Objekte mit einer automatisch beschickten Holzfeuerung die Technik der Wahl. Für größere Objekte gibt es hingegen technisch ausgereifte Anlagen zur Verbrennung von Holzhackschnitzeln, die im Vergleich zu Pelletheizungen günstiger zu betreiben sind, da Hackschnitzel preisgünstiger sind als Pellets.

Würde das gesamte Aufkommen von rund 2,0 Mio.  $t_{\text{atro}}$  an Sägespänen und Sägemehl für die Pelletproduktion genutzt, würden damit rund 30 PJ Brennstoffenergie bereitgestellt werden. Betrachtet man den gesamten Wärmebedarf der privaten Haushalte in Deutschland in der Größenordnung von 2.600 PJ<sup>23</sup>, zeigt sich, dass mit Pellets aus Sägenebenprodukten rund 1 % des Wärmebedarfs der privaten Haushalte abgedeckt werden könnte. Damit übersteigt die Nachfrage nach Wärme das Wärmeangebot durch realisierte und zukünftig zu erwartende Pelletheizungsanlagen bei weitem. Entscheidend für den weiteren Ausbau des

---

<sup>23</sup> Rund 2.600 PJ Endenergie für Prozesswärme und Raumwärme in privaten Haushalten in 1997 nach [UBA 2002]

Pelletmarkts ist damit nicht die zukünftige Entwicklung des Wärmebedarfs, sondern vielmehr der Bau von weiteren Pelletheizungsanlagen.

### Wirtschaftliche Aspekte des Holz- und Pelletmarkts

Ganz allgemein werden sich in Zukunft die Holzpreise stärker denn je am Heizölpreis orientieren. Doch im Detail ist diese Kopplung noch nicht oder nur bedingt zu erkennen: Nach Angaben des DEPV [2008] hat der Preis für Holzpellets im Januar 2007 sein Maximum erreicht, während der Preis für Heizöl erst im August 2008 seinen Höchststand erreicht hat.

Die aktuell schwache Baukonjunktur führt zu einem geringeren Anfall an Waldrestholz sowie Industrierestholz und Sägereste für die Energienutzung. Entsprechend steigt der Preis auf den Energieholzmärkten derzeit unabhängig von der Ölpreisentwicklung [Luick 2008]. Außerdem ist in der Vergangenheit durch die intensive Nachfrage nach Brennholz infolge der Förderung der energetischen Biomassenutzung durch das EEG der Preis für Brennholz angestiegen.

Doch auch trotz der aktuellen Entspannung auf dem Gas- und Ölmarkt, muss für die Zukunft insgesamt von hohen Energiepreisen ausgegangen werden. Dann bleibt der Vorteil der Holzheizung weiterhin bestehen und es ist davon auszugehen, dass die Nachfrage nach Holzpellets weiter ansteigen wird. Aus Sicht der Sägewerksbetreiber ist es wirtschaftlich attraktiv, für ihre Sägespäne langfristige Lieferverträge mit Pelletherstellern abzuschließen [Pehnt 2006].

### Holzwerkstoffindustrie

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



Sägenebenprodukten [Mantau, Bilitewski 2005]. Insgesamt betrug der Holzinput in die Holzwerkstoffindustrie rund 8 Mio.  $t_{atro}$ .

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

Für die Herstellung von Spanplatten wird das entrindete Holz zerkleinert. Anschließend werden verschiedene Spangrößen mit genauen Anforderungen an die Spanlänge und die Spandicke erzeugt. Anschließend werden die Sägespäne getrocknet. In der Faserplattenindustrie wird das Holz ebenfalls zunächst zerkleinert und anschließend zerkleinert.

### **Szenarioaufbau und Systemgrenzen**

Die Bilanz der Potenziale durch das Szenario „Substitution von Sägespänen“ basiert auf:

- Zusätzliche Umweltlasten (i.W. Energiebedarf) durch die Pelletproduktion aus 1,6 Mio.  $t_{atro}/a$  Sägemehl und Sägespänen (Nutzung von 80 % des Aufkommens aus der Sägeindustrie).
- Die  $CO_2$ -Emissionen aus der Verbrennung der Pellets in Kleinf Feuerungsanlagen gehen nicht in die THG-Bilanz ein, da  $CO_2$  aus nachwachsenden Rohstoffen kohlenstoffneutral ist.
- Umweltentlastung durch Substitution von Gas- und Ölzentralheizungen (Anteile 50/50). Es werden sowohl die Emissionen aus der Feuerung als auch Aufwendungen der Brennstoffbereitstellung bilanziert.
- Zusätzliche Umweltlasten (i.W. Energiebedarf) aus der Herstellung der Späne aus dem Waldrestholz und Schwachholz.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die bilanzierten Stoffströme und Prozesse.

### Ergebnisse der Szenariorechnung

Durch die Substitution von 1,6 Mio.  $t_{atro}$  Sägespänen in der Holzindustrie durch Schwachholz und Nutzung der Sägespäne zur Pelletherstellung kann ein Klimaschutzpotenzial von insgesamt ca. 1,6 Mio.  $t$  CO<sub>2</sub>-Äquivalenten erschlossen werden.

Tabelle 14: Ergebnisse für das Szenario „Substitution von Sägespänen“ bezogen auf die Gesamtmenge von 1,6 Mio.  $t_{atro}$

	spezifischer Faktor	Gesamtpotenzial
	kg CO <sub>2eq</sub> /t	t CO <sub>2eq</sub>
<b>Umweltbelastung</b>		
Holzpellets (Herstellung)	-146	-233.544
Sägespäne aus Schwachholz	-42	-66.560
<b>Umwentlastung</b>		
Substitution Öl- und Gasheizung	-1.200	-1.920.000
<b>Einsparungspotenzial</b>	<b>-1.012</b>	<b>-1.619.896</b>

#### 4.3.2 Einsatz in Holz-Heizkraftwerken (Szenario 2)

In ca. 160 Biomasseheizkraftwerken nach dem EEG wurden 2006 ca. 5.000 GWh elektrische Energie erzeugt [IE 2007]. Die aus fester Biomasse erzeugte Strommenge hat sich gegenüber 2000 damit nahezu verfünffacht. Die Wärmemenge die aus diesen Anlagen zur Verfügung gestellt wurde, wird grob auf 1.900 bis 3.700 GWh geschätzt.

Die Nutzung von Waldrestholz und sonstigem Schwachholz in Heizkraftwerken ist mit 318.000  $t_{atro}$  je Jahr (Stand 2002) noch wenig ausgeprägt. Für 2006 wird eine Menge von ca. 400.000  $t_{atro}$  geschätzt.

Als wichtigstes Verfahren zur Nutzung des Brennstoffs Holz ist trotz zunehmender Bedeutung von alternativen Verbrennungsprozessen (wie ORC- und Kalina-Prozess) oder Vergasungstechnologien nach wie vor der klassische Dampfkraftprozess zu betrachten.

In Szenario 2 wird das Klimaschutzpotenzial von Waldrestholz und Schwachholz bei einer energetischen Nutzung von dem Anteil, der nicht zur Substitution von Sägespänen genutzt wurde. Damit stehen je nach Steigerung der Stamm- und Industrieholznutzung 2,5 bzw. 5,0 Mio.  $t_{atro}$  Waldrestholz und Schwachholz für die energetische Nutzung zur Verfügung. Das entspricht 61 % bzw. 76 % des technisch ökologischen Potenzials von 4,1 bzw. 6,6 Mio.  $t_{atro}$  (vgl. Tabelle 6). Bei einem Heizwert von 17,65 MJ/kg für Holz (atro) steht damit eine Energiemenge von 44 bzw. 88 PJ zur Verfügung.

## Szenarioaufbau und Systemgrenzen

Die Bilanz der Potenziale durch das Szenario „Einsatz in Holz-Heizkraftwerken“ basiert auf:

- Zusätzliche Umweltlasten (i.W. Energiebedarf) aus der Bereitstellung von und Herstellung der Holzhackschnitzel aus Waldrestholz und Schwachholz.
- Umweltentlastung durch Substitution von Strom sowie Gas- und Ölzentralheizungen (Anteile 50/50). Es werden sowohl die Emissionen aus der Feuerung als auch Aufwendungen der Brennstoffbereitstellung bilanziert.

Das Waldrestholz und sonstige Schwachholz wird in energieeffizienten Holz-Heizkraftwerken mit einem Wirkungsgrad von 27 % elektrisch und 50 % Wärme verbrannt wird.

Für den produzierten Strom wird der Strom-Mix nach GEMIS gutgeschrieben. Die Wärme ersetzt zu je 50 % Gas- und Ölheizungen, bei einem angesetzten Verlust im Fernwärmenetz von 10 %.

## Ergebnisse der Szenariorechnung

Durch die energetische Nutzung von 2,5 Mio. bzw. 5 Mio.  $t_{\text{atro}}$  Holzhackschnitzel aus Waldrestholz und Schwachholz in Holz-Heizkraftwerken kann ein Klimaschutzpotenzial von insgesamt 4,38 Mio. bzw. 8,75 Mio.  $t \text{ CO}_2\text{-Äquivalenten}$  erschlossen werden.

Tabelle 15: Ergebnisse für das Szenario „Einsatz in Holz-Heizkraftwerke“ bezogen auf die Gesamtmenge von 2,5 Mio. bzw. 5 Mio.  $t_{\text{atro}}$

	spezifischer Faktor	Gesamtpotenzial von	Gesamtpotenzial bis
	kg $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{t}$	t $\text{CO}_{2\text{eq}}$	t $\text{CO}_{2\text{eq}}$
<b>Umweltbelastung</b>			
Schwachholz zu Holzhackschnitzel	142	355.000	710.000
<b>Umweltentlastung</b>			
Substitution Strom-Mix	-870	-2.174.259	-4.348.519
Substitution Öl- und Gasheizung	-739	-1.847.122	-3.694.243
<b>Einsparungspotenzial</b>	<b>-1.467</b>	<b>-4.376.381</b>	<b>-8.752.762</b>

### 4.3.3 Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Brennstoff aus Holz gegenüber der Verfeuerung von fossilen Rohstoffen unter dem Gesichtspunkt Klimaschutz deutlich von Vorteil ist. Die Energieaufwendungen, die in die Pelletherstellung als auch in die Aufbereitung des Waldholzes fließen, stehen in keinem Verhältnis zu den damit verbundenen Substitutionserfolgen.

Durch die Nutzung des für diese Szenarien zugrunde gelegten Gesamtpotenzials von 4,1 Mio. bzw. 6,6 Mio.  $t_{\text{atro}}$  Holzhackschnitzel aus Waldrestholz und Schwachholz in den berechneten Szenarien lässt sich somit insgesamt ein Klimaschutzpotenzial von 6 Mio. bis 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten erschließen.

Das spezifische Klimaschutzpotenzial von Waldrestholz und sonstigem Schwachholz liegt je nach Nutzungskonzept zwischen 1,0 und 1,5 t CO<sub>2</sub>/t Holz. Mit dem direkten Einsatz in Holzheizkraftwerken und Holzheizwerken (hier nicht bilanziert) oder der Produktion von Pellets und deren Einsatz als Ersatz von fossilen Brennstoffen in Hausheizungen stehen ausreichende Nutzungskonzepte für Waldrestholz zur Verfügung. Die Konzepte mit direktem Einsatz des Waldrestholzes sind dabei mit geringeren Verlusten effektiver als der Umweg über die Pellets. Die Produktion von Pellets macht die Nutzung von Waldrestholz dagegen Standort unabhängig und kann zusätzliche Potenziale erschließen.

Einen wesentlichen Einfluss auf das nutzbare Potenzial an Waldrestholz hat der Mobilisierung der Potenziale an Stammholz. Da die stoffliche Nutzung von Stammholz (z.B. in der Bauindustrie) den Energieerhalt des Holzes erhält wird hierdurch zudem die besonders effektive Kaskadennutzung möglich. Um also zum Einen das Potenzial des Stammholzes und des Waldrestholzes intensiv zu Nutzen, ist eine Ausweitung der stofflichen Nutzung von Stammholz anzustreben. Hierzu sind Förderprogramme notwendig, die den Einsatz von Holz über das heutige Niveau hinaus fördern. Hierzu zählen insbesondere Förderungen für Holzhäuser im Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser und neue Konzepte für die Ausweitung der Holznutzung im Wohngeschoss- und Reihenhausbau.

Die energetische Nutzung des dann vermehrt anfallenden Waldrestholzes ist mit dem EEG, in Verbindung der Umsetzungsstrategien in Kapitel 7 ausreichend gefördert.

Vor dem Hintergrund der Schwierigkeiten bei der Bewertung der Potenzialausnutzung erscheint eine regionalisierte Darstellung des Waldrestholzpotenzials auf der Grundlage einer detaillierten Standortbewertung (die auch Natur- und Bodenschutzaspekte einbezieht) notwendig, siehe Kapitel 2.2.1. Für eine aktuelle Analyse der Potenzialauswertung sollte außerdem die amtliche Statistik um einige Größen der Energieholznutzung erweitert werden.

Aus Sicht des Boden- und Naturschutzes scheinen vor allem größere Anlagen (etwa ab 12 MW) mit Energieholznutzung Probleme mit sich zu bringen, die möglicherweise einer Regelung bedürfen. Ist der Durchsatz solcher Anlagen so groß, dass keine nennenswerte Holzbunkerung mehr stattfinden kann, kann dies regional zu einem ganzjährigen Holzeinschlag führen. Dadurch fehlen Ruhezeiten und der Boden wird durch die Bearbeitung bei allen Witterungszuständen geschädigt [Luick 2008].

#### **4.4 Szenarien Stroh**

Für den Reststoff Stroh gibt es sowohl stoffliche als auch energetische Nutzungsoptionen. Die *stofflichen* Nutzungsoptionen von Stroh liegen vor allem im Bereich von Baustoffen zur Isolation. Prinzipiell ist die stoffliche Nutzung der energetischen Nutzung vorzuziehen, da die stoffliche Nutzung eine anschließende Energienutzung nicht ausschließt (Nutzungskaskade).

Für eine *Energienutzung* kommen verschiedene konkurrierende Nutzungsoptionen in Frage: Stroh kann entweder als Festbrennstoff direkt verbrannt werden oder zu Synthesegas (Strohvergasung) und Biokraftstoffen (BtL und Ethanol) konvertiert werden. Beide Konversionswege von Stroh zählen zu den Zukunftstechnologien, die etwa ab 2020 breite Anwendung finden könnten.

Als Festbrennstoff wird Stroh bereits heute in verschiedenen Anlagen eingesetzt: In Europa sind 11 Heizkraftwerke, 78 Fernwärmewerke und ca. 13.000 Kleinanlagen bekannt, die auf der Basis von Stroh in Betrieb sind. In Deutschland sind es bisher nur einzelne Kleinanlagen sowie zwei größere Heizwerke [Vetter und Hering 2008].

Für die Strohnutzung wird werden die Treibhausgasemissionen von drei verschiedenen Szenarien betrachtet:

- Mitverbrennung von Strohballen im Kohlekraftwerk (Szenario MV-Kohle)
- Herstellung von Stroh-Synthesegas und Mitverbrennung im GuD-Kraftwerk (Szenario MV-GuD)
- Herstellung von Ethanol aus Stroh (Szenario ligno-Ethanol)  
Außerdem erfolgt noch der Vergleich der Nutzung von Ethanol aus Stroh im Benzinmotor dem Einsatz von Strom aus der Strohmitverbrennung im Kohlekraftwerk bzw. GuD-Kraftwerk in einem PKW mit Elektroantrieb.

Zur besseren Vergleichbarkeit wird für alle Szenarien das Bezugsjahr 2020 gewählt, da die Strohvergasung und die Kraftstoffherstellung erst ab dann als anwendungsreif angesehen werden können. Für alle Optionen wird davon ausgegangen, dass das verfügbare technisch-ökologische Strohpotenzial im Jahr 2020 von 4,3 t/a nahezu vollständig (90 %) für die jeweilige Technologieoption mobilisiert werden kann. Da Stroh bisher nur in Einzelfällen zur energetischen Verwertung genutzt wird, führt dies zu einer Vervielfachung gegenüber heute.

#### **4.4.1 Behandlungsschritte**

##### **Mitverbrennung von Strohballen im Kohlekraftwerk**

Die derzeitige Nutzung beschränkt sich im Wesentlichen auf die Mitverbrennung von Stroh in Großkraftwerken, da die Strohverbrennung durch niedrige Ascheschmelzpunkte und seine Rauchgaszusammensetzung zu Problemen führt. Die aufwändige Rauchgasreinigung ist in dezentralen Anlagen nicht wirtschaftlich darstellbar ist, durch vorhandene Technik bei der Abgasreinigung in Großkraftwerken können die entsprechenden Grenzwerte dagegen ohne Mehrkosten eingehalten werden. Da jedoch weder Großanlagen über 20 MW noch Anlagen, die sowohl fossile als auch biogene Brennstoffe verfeuern, keine EEG-Vergütung in Anspruch nehmen können, konnten bisher keine nennenswerten Strohmenigen für Mitverbrennung mobilisiert werden.

Für Kohlekraftwerke wird von einer realisierbaren Zufeuerung von 5 bis 10 % ausgegangen [Öko-Institut et al. 2004]. Ausgehend von Prognosen für die Bruttostromproduktion aus Braun- und Steinkohle für das Jahr 2020, ergibt sich für die Mitverbrennung eine mögliche Nachfrage von 100 PJ/a (eigene Berechnungen nach [EWI/Prognos 2005]). Bis dahin wird sich aufgrund veränderter Anbauflächen das Strohangebot im Jahr 2020 gegenüber heute leicht erhöhen (61 bis 74 PJ/a, das entspricht einer Menge von 4,3 Mio. bis 5,3 Mio. t Stroh [Öko-Institut 2004]). Es kann also davon ausgegangen werden, dass es möglich ist, das gesamte Potenzial in Kohlekraftwerken zu verwenden. Für die weiteren Rechnungen wird der untere Wert von 61 PJ/a (4,3 Mio. t/a) verwendet.

### **Mitverbrennung von Synthesegas im GuD-Kraftwerk**

Die Vergasung von fester Biomasse ist im Grunde genommen eine unvollständige Verbrennung der Biomasse. Dabei wird ein niederkaloriges Schwachgas (3-5 MJ/m<sup>3</sup>) erzeugt. Für eine Nutzung im Motor oder in Gasturbinen muss das Gas anschließend gekühlt und gereinigt werden.

Ausgangsstoffe für die Vergasung sind vor allem lignozellulosehaltige Biomassen wie Stroh und Holz. Doch die Vergasung von Stroh und anderen Halmgütern ist angesichts hoher Konzentrationen an Säurebildnern (Stickstoff, Schwefel, Chlor und Alkalimetallen) sowie wegen des niedrigen Ascheschmelzpunkts deutlich komplizierter als die Holzvergasung.

Bei den meisten Verfahren zur Biomassevergasung wird Luft als Vergasungsmittel eingesetzt. Die Synthesegaserzeugung kann über einstufige Vergaser (Festbett-, Wirbelschicht-, Flugstromvergaser) oder über mehrstufige Verfahren erfolgen (Carbo-V®-Verfahren von Choren, bioliq®-Verfahren von FZK). Für Halmgüter sind alle einstufigen Verfahren ungeeignet. Mehrstufiger Verfahren liefern dagegen sauberere Rohgase und Stoffe, die die Synthesegaserzeugung stören.

### **Ethanolherstellung aus Stroh**

Gegenwärtig wird Bioethanol vornehmlich durch die Vergärung von zucker- und stärkehaltigen Rohstoffen hergestellt. Daneben sind verschiedene Verfahren zur

Ethanolherzeugung aus Lignozellulose<sup>24</sup> in der Entwicklung. Für diese Verfahren kommen als Einsatzstoffe Pflanzenreste wie Stroh oder Ganzpflanzen in Frage.

Der Hauptunterschied zur Ethanolherzeugung aus zucker- oder stärkehaltigen Rohstoffen besteht in der Notwendigkeit einer Vorbehandlung der Biomasse, um die Cellulose und Hemicellulose aufzuschließen (Zerkleinerung und Hydrolyse) sowie die Fermentation der Pentosen (C-5-Zucker) der Hemicellulose [Igelspacher 2006]. Bei dem hier betrachteten Prozess handelt es sich um eine Teilhydrolyse mittels einer schwachen Säure mit anschließendem enzymatischem Aufschluss der Cellulose und Hemicellulose. Die Fermentation wird mit gentechnisch veränderten E.Coli Bakterien durchgeführt (Daten nach [ENREL 2002], mit eigener Fortschreibung bis 2030). Die zurückbleibenden festen Reststoffe werden in einem Blockheizkraftwerk eingesetzt. Dadurch kann das gesamte Verfahren mit Energieversorgt werden. Ein möglicher Stromüberschuss wird hier nicht betrachtet.

In der Forschung und Entwicklung zur Erzeugung von Ethanol aus Stroh sind derzeit folgende neuralgische Punkte zu nennen:

- hoher Energie- und Chemikalienbedarf für mechanische/chemische Vorbehandlung
- geringe Effizienz der Enzyme
- hoher Enzympreis
  - Entwicklung geeigneter Mikroorganismen
  - Entwicklung anaerob arbeitender Mikroorganismen
- Gleichzeitige Vergärung von Hexosen und Pentosen (C-5) bei Steigerung der Alkoholverträglichkeit<sup>25</sup>

Es wird davon ausgegangen, dass die Technik bis 2020 zur Verfügung steht. Erste Annexanlagen an eine bestehende klassische Ethanolanlage sind bereits ab 2015 realistisch [Müller-Langer 2008]. Insofern besteht erst ab dann Konkurrenz um den Reststoff Stroh zwischen den heutigen kommerziell verfügbaren stationären Anwendungen und der Nutzung von Stroh als Biokraftstoff.

Hier wird keine BtL-Option aus Stroh betrachtet, da die thermo-chemischen Verfahren für ihre Marktreife noch größere Schwierigkeiten im Bereich der Vergasung bewältigen müssen.

---

<sup>24</sup> Lignocellulosen bestehen aus Cellulose, Hemicellulosen und dem nicht fermentierbaren Lignin

<sup>25</sup> Aufgrund geringerer Alkoholtoleranz der Mikroorganismen werden geringere Ethanolkonzentrationen erreicht. Dadurch steigt der Aufwand zur Ethanolabtrennung erheblich an.



Außerdem sind die Vergärungsoptionen in Bezug auf die Schließung natürlicher Nährstoffkreisläufe überlegen, da die Gärreste als organische Dünger zurück auf das Feld gebracht werden können. Die Asche aus der Ligninverbrennung kann zur Rückführung der Mineralstoffe ebenfalls als Dünger verwendet werden.

Sämtliche Bilanzen umfassen die Bergung sowie notwendige Konversionsschritte für den Brennstoff (wie etwa Trocknung oder die Strohvergasung im Falle der Mitverbrennung im GuD-Kraftwerk).

#### **4.4.2 Substitution**

Als Vergleichsprozess dient jeweils die äquivalente Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern:

Es wird angenommen, dass die energetische Strohnutzung jeweils den fossilen Energieträger im eigenen Kraftwerk verdrängt:

- Bei der Mitverbrennung im Kohlekraftwerk substituiert also jedes Joule aus dem Heizwert von Stroh ein Joule Stein- bzw. Braunkohle. Eine gekoppelte Wärmenutzung ist nicht enthalten.
- Bei der Mitverbrennung im GuD-Kraftwerk substituiert jedes Joule aus dem Heizwert von Stroh ein Joule Erdgas. Eine gekoppelte Wärmenutzung ist nicht enthalten.
- Bei der Ethanolherstellung substituiert jedes Joule aus Ethanol ein Joule Benzin. Doch wird die Vergleichbarkeit der Ergebnisse für Kraftstoffe mit denen für die biogene Strom- bzw. Wärmebereitstellung durch die unterschiedliche Systemgrenzen erschwert:
  - Der direkte Vergleich auf der Basis von Endenergie (Strom, Wärme und Kraftstoff) ignoriert den „Verkehrsnutzen“ (Einheit Fahrzeugkilometer), in den der Motorwirkungsgrad verschiedener Motoren (hier Benzin und Elektro) einfließt.

- Daher wurden auch die THG-Bilanzen je Fahrzeug-Kilometer angegeben. , Damit werden die Unterschiede zwischen den Antrieben sichtbar, doch ist dann der direkte Vergleich mit Strom bzw. Wärme nicht mehr möglich.

Die stoffliche Nutzung von Stroh als Bodenverbesserer und für die Stalleinstreu bleibt unangetastet, lediglich überschüssige Mengen werden für die energetische Nutzung mobilisiert (Annahmen s. [Öko-Institut et al. 2004]). Eine Betrachtung von organischen Ersatzdüngern ist daher nicht notwendig.

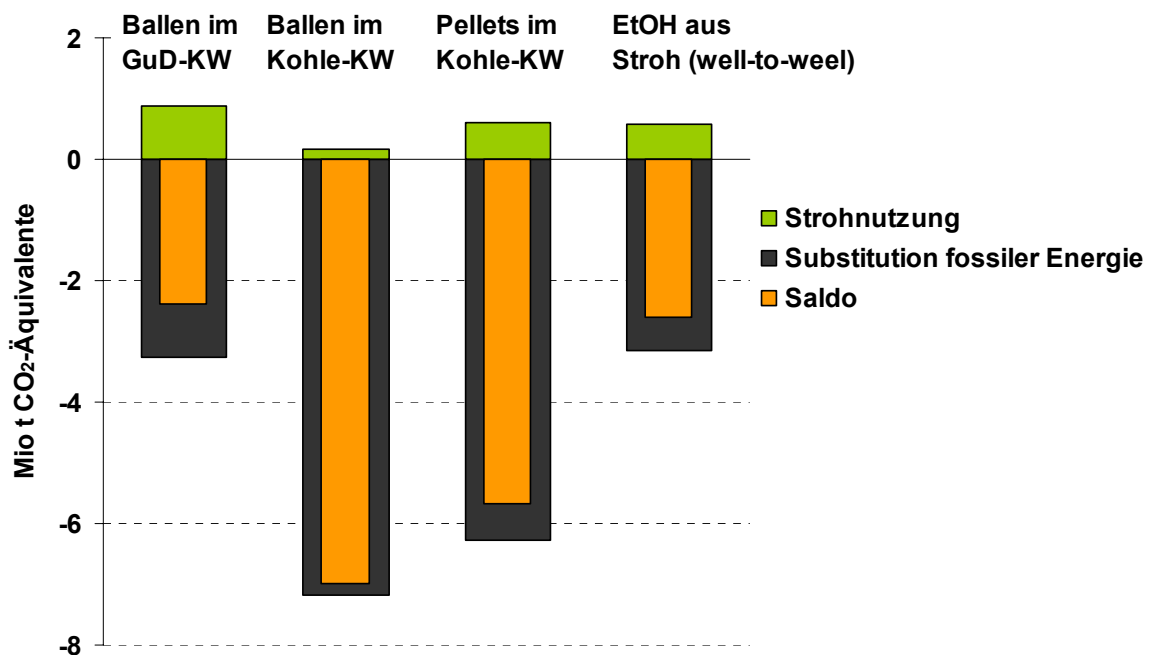
Ein eventuell notwendiger Ersatz einzelner Nährstoffe durch Mineraldünger wurde hier nicht betrachtet.

#### **4.4.3 Bilanzergebnisse für die Stroh-Szenarien**

Für die Optionen der Mitverbrennung ist das Ergebnis Szenarien deutlich von der Wahl des Äquivalenzprozesses geprägt: Geht man davon aus, dass bei einer Mitverbrennung im Kohlekraftwerk Kohle verdrängt wird, fällt die Bilanz günstiger aus, da Strom aus Kohlekraftwerken mit höheren spezifischen Emissionen verbunden ist als Strom aus einem GuD-Kraftwerk (siehe Abbildung 5). Weiterhin hat die Energieausbeute des Brennstoffes einen maßgeblichen Einfluss. Der Energieaufwand für die Strohvergasung kann nicht durch den besseren Wirkungsgrad des GuD-Kraftwerks kompensiert werden. Und bei der Mitverbrennung im Kohlekraftwerk zeigt auch der Energiebedarf für die Pellettierung von Stroh einen Einfluss auf das Ergebnis.

Als Vergleich zur Mitverbrennung in Kohle- bzw. Gaskraftwerken wurde außerdem noch die Option der Treibstoffnutzung als Bioethanol betrachtet. In diesem Falle können sogar etwas mehr Treibhausgase eingespart werden als bei der Strohvergasung und Mitverbrennung. Dies liegt im höheren Wirkungsgrad der Ethanolherstellung gegenüber der thermochemischen Strohgassynthese begründet. Alternativ zur Ethanolherstellung kann auch Biomasse-Strom im Verkehrssektor in Elektroautos zum Einsatz kommen. Diese Möglichkeiten sind schließlich noch einmal in Abbildung 6 dargestellt. Hier liegen die Treibhausgasemissionen der Elektrofahrzeuge auf Basis von Strom aus der Strohmitverbrennung etwas niedriger als bei der Nutzung von Strohethanol in Ottomotoren. Das liegt vor allem im besseren Wirkungsgrad von Elektromotoren begründet.

Abbildung 5: Treibhausgasemissionen für die Nutzung des gesamten Strohpotenzials in einer Technologieoption im Vergleich zur jeweiligen fossilen Referenz (auf Basis von bereitgestellter Endenergie in PJ – also Strom bzw. Kraftstoff und Fahrzeugkilometer), bezogen auf das Jahr 2020



In Tabelle 16 sind noch einmal die für der Abbildung zugrunde liegenden Werte aufgeführt.

Tabelle 16: Treibhausgaseinsparung der betrachteten Nutzungsoptionen für das gesamte Strohpotenzial

Technologieoption	Einsparung Treibhausgase	Endenergieausbeute
	Mio t CO <sub>2</sub> -Äquiv.	PJ
Mitverbrennung: Strohsynthesegas im GuD-KW	2,4	29,5
Mitverbrennung: Strohballen im Kohle-KW	7,0	32,9
Mitverbrennung: Strohpellets im Kohle-KW	5,7	28,8
Treibstoff: Ethanol aus Stroh	2,6	35,5 bzw. 17 Mrd Fzg.-km

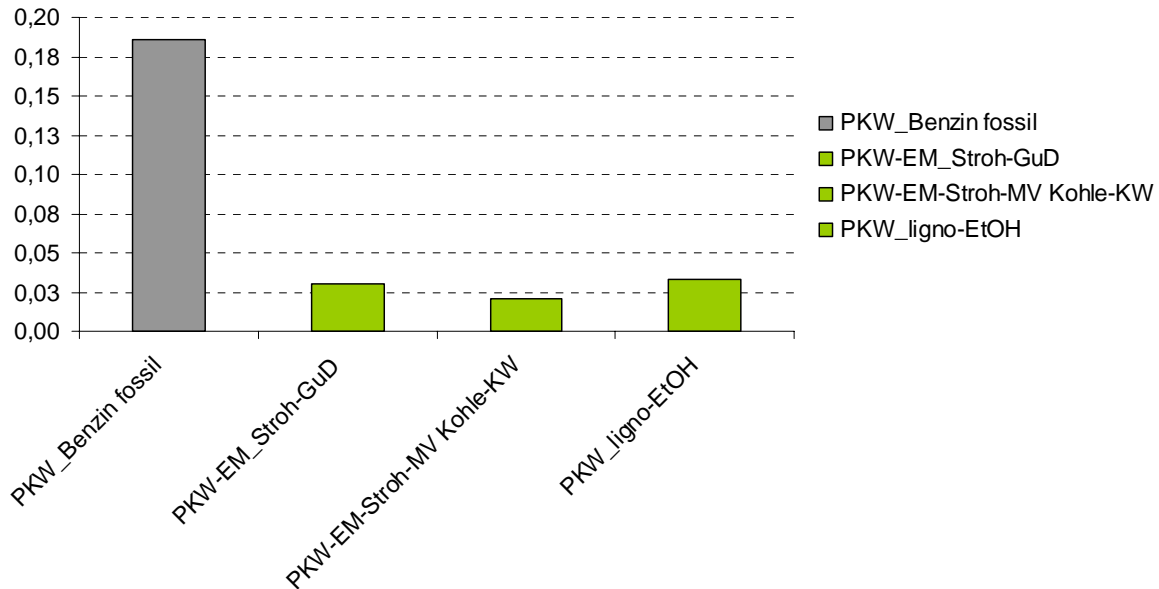


Abbildung 6: Treibhausgasemissionen für die Nutzung des gesamten Strohpotenzials im Verkehrssektor – als Strom bzw. Ethanol im Vergleich zum Einsatz fossilen Benzins (auf Basis des Verkehrsnutzen als Fahrzeug-Kilometer) (EM= Elektromotor)

In Tabelle 17 sind noch einmal die für der Abbildung zugrunde liegenden Werte aufgeführt.

Tabelle 17: Treibhausgaseinsparung der betrachteten Nutzungsoptionen für das Strohpotenzial im Verkehrssektor

Technologieoption	THG-Einsparung [g je Fahrzeug-km] gegenüber Benzin
PKW-EM_Stroh-GuD	0,16
PKW-EM-Stroh-MV Kohle-KW	0,17
PKW_ligno-EtOH	0,15

#### 4.4.4 Fazit

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

Die Mitverbrennung im Kohlekraftwerk zeigt zwar aufgrund der Substitution von Kohle den höchsten Effekt bei der Verringerung von Treibhausgasemissionen, doch handelt es sich hierbei auch um ein Übergangsphänomen. In Zukunft wird die Kohle jedoch eine geringere Bedeutung im deutschen Strommix haben und entsprechend ist mit fortschreitender mit sinkenden Mitverbrennungskapazitäten zu rechnen – bzw. alternativ werden die spezifischen Emissionen von Kohlekraftwerken durch den Einsatz von CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechnologien sinken. Jede substituierte Einheit Kohle wird dann auch nur noch mit geringeren Emissionen verbunden sein. Entsprechend gewinnen die Optionen der Strohvergasung und Ethanolherstellung mit fortschreitender Zeit an zusätzlicher Attraktivität und sollten entsprechend gefördert werden.

Derzeit gibt es vor allem bei der Hochskalierung der Vergasertechnik technische Probleme. Aus diesem Grunde ist nicht zu erwarten, dass die Zukunft in großen Vergasern liegt, die an GuD-Kraftwerke angeschlossen sind. Insofern besteht für die Strohvergasung keine Notwendigkeit die EEG-Förderung auf Anlagen über eine Leistung von 20 MW oder für die Mitverbrennung auszudehnen. Im Gegenteil: Wie bei allen stationären Nutzungen ist die maximale Einsparung von Treibhausgasen mit Kraft-Wärmekopplung zu erreichen. Hier scheint das bestehende Instrumentarium der KWK-Förderung bereits ausreichend zu sein.

Dennoch hätte eine Ausdehnung der EEG-Förderung auf die Mitverbrennung in größeren Anlagen den positiven Nebeneffekt, dass die Märkte für eine Energiestrohnutzung entstehen würden (siehe hierzu auch Kapitel 6.5).

#### **4.5 Szenarien Gülle**

In diesem Kapitel werden Treibhausgasemissionen folgender Optionen für die Güllenutzung miteinander vergleichen:

- Ist-Situation:  
Ausbringung unbehandelter Gülle als Wirtschaftsdünger (unter Berücksichtigung der heutigen Vergärung von Gülle und Biogasnutzung (Ist-Szenario).
- Ausbau der Vergärung von Gülle mit anschließender Biogasnutzung:  
Die vergorene Gülle wird wie unbehandelte Gülle als Wirtschaftsdünger verwendet

(Szenario Güllevergärung). Insofern wird nur der Prozess der Biogasproduktion zwischen die Lagerung und Ausbringung geschaltet, die Gülle muss nicht durch alternative Stoffströme substituiert werden. Dabei werden in Unterszenarien folgende Größen variiert :

- Mobilisierungsgrad (65% und 80% des technisch-ökologischen Potenzials)
- Aufbereitung und Einspeisung ins Erdgasnetz bei Variation der Wärmenutzung

Derzeit werden nur etwa 6,5 % des Potenzials an Gülle und Festmist in einer Biogasanlage vergoren und aus dem Biogas etwa 640 Mio. Kilowattstunden Strom produziert (plus Wärmenutzung bei kraft-wärme-gekoppelten Anlagen). Angesichts dieser Zahl wird deutlich, dass kurzfristig keine vollständige Potenzialausnutzung erreicht werden kann. Deshalb beziehen sich die Szenarien auf das Jahr 2020. Für die Beurteilung der möglichen Umweltentlastungseffekte muss daher die mittelfristige Entwicklung des Potenzials berücksichtigt werden: Es wird davon ausgegangen, dass der Viehbestand in Deutschland (Tierzahlen und Betriebsgröße) bis ins Jahr 2020 um 12% gegenüber heute abnehmen wird ([Öko-Institut 2004] – überarbeitet nach [Simon 2006]). Das entspricht einer Abnahme von derzeit jährlich 4,23 Mrd. m<sup>3</sup> Biogas auf 3,76 Mrd. m<sup>3</sup> im Jahr 2020.

Die Gülle geht als vorleistungsfreier Reststoff in das System hinein, die Stoffströme aus der Tierhaltung (wie Futter, Energieverbrauch im Stall) sind nicht Bestandteil der Untersuchung, da die Tierhaltung der Ernährung dient. Die bilanzierten Stoffströme umfassen den Bau und Betrieb einer Biogasanlage zur anaeroben Güllevergärung. Es wird in den Szenarien von einer Monovergärung von Gülle ausgegangen, daher müssen keine zusätzlichen Kosubstrate betrachtet werden.

Im Folgenden werden einzelnen Szenarien und deren Annahmen beschrieben. Hierfür sind in Tabelle 18 die Annahmen zur Erfassungsquote und der Wärmenutzung bzw. der KWK-Anteil aufgeführt.

Tabelle 18: Überblick über die wichtigsten Szenarioannahmen

<b>Szenario</b>	<b>Erfassungsquote</b>	<b>Zusätzliche Wärmenutzung/ Gaseinspeisung</b>	<b>KWK (el : th)</b>
2020-65%	65%	Nein	1:1,16
2020-80%	80%	Nein	1:1,16
2020-80% Einspeisung mit KWK	80%	Einspeisung von 50 % ins Gasnetz KWK-Nutzung bei allen Anlagen	1:1,16 (für 500 kW) Einspeisung: 1:1,3 (für 1 MW)
2020-80% Einspeisung ohne KWK	80%	Einspeisung von 50 % ins Gasnetz	1:1,16 (für 500 kW) Keine KWK für eingespeistes Biogas, Nutzung in GuD-Kraftwerk

#### 4.5.1 Behandlungsschritte

##### Vergärung gegenüber traditioneller Güllelagerung

Mist und Gülle müssen zwischengelagert werden, bis sie als Wirtschaftsdünger zu geeigneten Zeitpunkten aus Sicht des Pflanzenbaus ausgebracht werden. Aus Umweltgründen ist zudem in allen Bundesländern eine Düngung in den Wintermonaten untersagt [FNR 2004]. Üblich sind Güllelager ohne Abdeckung (offene Lager), weshalb größere Mengen an Ammoniak, Methan, Lachgas und anderen Spurengasen freigesetzt werden können. In einer Biogasanlage unterliegt die Gülle dagegen dem kontrollierten Prozess der anaeroben Vergärung. Dabei wird ein Teil der organischen Trockensubstanz in Biogas metabolisiert, das aufgefangen und energetisch genutzt wird. Der Fermenterrest wird in einen Nachgärbehälter gefüllt, um die Ausbeute an Biogas zusätzlich zu erhöhen und Emissionen in die Atmosphäre zu vermeiden. In der sog. Nachgärung kann nochmals bis zu 20 % der Gesamtausbeute gewonnen werden. Durchschnittlich sind die Gärrestlager jedoch bei zwei Dritteln der Altanlagen offen und nur zu einem Drittel geschlossen, wobei letztere zudem oft nur geruchsmindernd abgedeckt und nicht gasdicht verschlossen sind [IE 2004].

Im Biogaspfad ist das Emissionspotenzial der vergorenen Gülle gegenüber der Lagerung unbehandelter Gülle deutlich reduziert – vorausgesetzt das Substrat hat im Fermenter einen hohen Abbaugrad erzielt [FNR 2004]. Die eingesparten Emissionen (und damit verbundene Aufwendungen) entfallen und können dem Biogasprozess gutgeschrieben werden. Doch muss beachtet werden, dass bei der Lagerung der Gärreste ebenfalls Emissionen entstehen können, die zu berücksichtigen sind.

### **Gärrestlagerung und –ausbringung**

Bei der Ausbringung von Gülle und Festmist werden veränderte gasförmige Emissionen, die durch eine Vergärung verursacht werden, nicht beachtet: Es ist nicht einfach, eine quantitative Aussage für veränderte Emissionen durch die Güllevergärung gegenüber unvergorener Gülle zu treffen. Dies liegt in den chemischen Reaktionen begründet, die von diversen Parametern abhängen, die Klima, Boden, Ausbringungs- und Lagertechnik betreffen. Verbindliche technische Standards fehlen diesbezüglich. Daher ist die Datenlage vage<sup>26</sup> und es erfolgt keine Berücksichtigung<sup>26</sup>.

Unumstritten ist jedoch der positive Effekt abgeschlossener Gärrestelager, die daher in der Bilanz Berücksichtigung finden (für den Zubau).

Da unbekannt ist, ob die Betriebe durch die Vergärung der Gülle tatsächlich auf einen Teil des Mineraldüngers verzichten, wird keine Gutschrift für die verbesserte Nährstoffverfügbarkeit gegenüber unvergorener Gülle gewährt

### **Biogasnutzung in einem BHKW**

In den Szenarien wird das Biogas in einem Mix verschiedener Blockheizkraftwerke zur gekoppelten Strom- und Wärmegewinnung genutzt. Doch die Umweltentlastungseffekte eines Biogas-BHKW gegenüber Netzstrom und einer Erdgaszentralheizung gehen nur zu einem Teil auf den regenerativen Brennstoff zurück, der andere Teil wird durch die bessere Primärenergieausnutzung in der Kraft-Wärme-Kopplung begründet. Um diesen Effekt zu zeigen, wird in der Ergebnisdarstellung der Anteil durch die Stromnutzung und der durch die Wärmenutzung getrennt ausgewiesen.

---

<sup>26</sup> Eine Variante mit Gutschrift ist in ifeu/Öko-Institut 2006 gerechnet worden.



In den Szenariorechnungen für 2005 und 2020 wird ein Mix über verschiedene Leistungsklassen und anteiligen Wärmenutzung angenommen, der berücksichtigt, dass beim Zubau in der Tendenz die Anlagenleistung steigt. Die angenommene Stromerzeugung nach Leistungsklasse ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 19: Zusammenfassung des Strommix für die einzelnen Szenarien,

el:th	Anlagenleistung	2005	2020*-65%	2020*-80%	+Einspeisung mit KWK	+Einspeis ohne KWK
1: ...		<b>Stromproduktion in [GWh]</b>				
0,48	100 kw-el	235	---	---	---	---
1,16	500 kw-el	345	5263	6611	3306	3306
1,3	1 MW-el	0	0	0	3306	0
0	GuD-KW	0	0	0	0	3306
0,7	GuD-HKW	0	0	0	0	0
---	<b>Summe</b>	<b>580</b>	<b>5263</b>	<b>6611</b>	<b>6612</b>	<b>6612</b>

\* Für 2020 ist nur der Zubau angegeben

## Aufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz

Da die Gülle in ländlichen Regionen anfällt, fehlt bei vielen Biogasanlagen eine ausreichende Nachfrage für die anfallende Wärme. Durch die Einspeisung von Biogas in das Gasnetz wird hier angenommen, dass das Biogas dadurch in Blockheizkraftwerken mit hoher Wärmenutzung eingesetzt werden kann, wodurch der Gesamtwirkungsgrad der Nutzung gesteigert wird.

Zusätzlich wird auch noch der Fall betrachtet, dass das eingespeiste Biogas in einem GuD-Kraftwerk ohne Wärmenutzung verstromt wird.

### 4.5.2 Substitution

Für die Energienutzung von Biogas wird von folgender Substitution fossiler Energieträger ausgegangen:

- Wärme aus der Kraftwärme-Kopplung des Biogas-BHKW substituiert eine dezentrale Gasheizung. Dabei werden Treibhausgasemissionen für das Jahr 2005 in Höhe von

295 kg/MWh Raumwärme und für 2020 in Höhe von 283 kg/MWh Raumwärme angesetzt.

- elektrische Energie eines Biogas-BHKW ersetzt die entsprechende Menge im Deutschen Strommix (Datenbasis [GEMIS 2005]). Dabei werden 656 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente/MWh für 2005 und 601 kg CO<sub>2</sub>/MWh Strom für 2020 angesetzt.

Die Emissionswerte sind aus GEMIS [2008] entnommen.

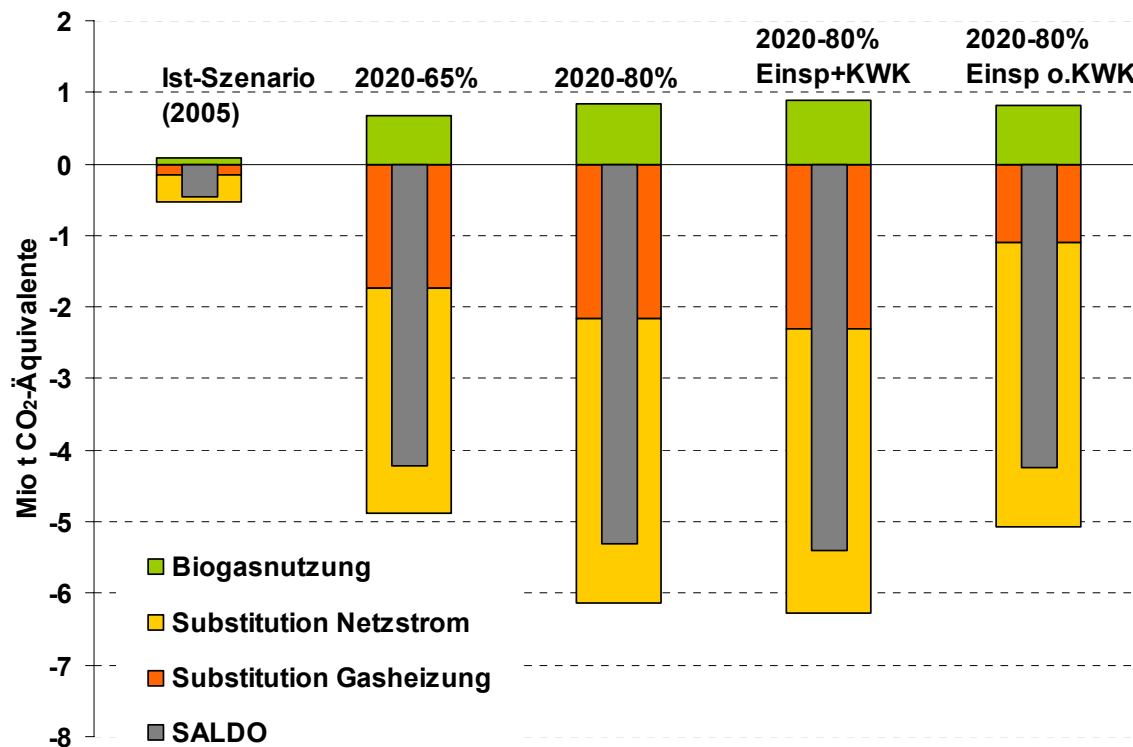
#### 4.5.3 Bilanzergebnisse der Gülle-Szenarien

Die Szenarioergebnisse zeigen, dass die Mobilisierung von Gülle zur Biogasgewinnung ein großes Potenzial für die Einsparung von Treibhausgasen aufweist. Aus Abbildung 7 wird ersichtlich, dass bereits heute durch den Einsatz von Biogas etwa eine halbe Million Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente jährlich eingespart werden.

Durch den Ausbau der zukünftigen Nutzung könnte dieser Wert im Szenario mit Biogaseinspeisung und hoher KWK-Quote im Jahr 2020 auf 5,4 Mio. t/a gesteigert werden. Dieses Szenario bewirkt die höchste Reduktion – vorausgesetzt, der KWK-Anteil kann auf 1,23 kWh Wärme pro Kilowattstunde Strom gesteigert werden.

Sollte dagegen derzeitige KWK-Quote bei einem Ausbau der Biogasnutzung nicht gehalten werden können (Szenario 2020-80% mit Einspeisung aber ohne KWK), würden nur etwa so viel Treibhausgase eingespart werden, wie bei einer Potenzialerschließung von 65 %.

Abbildung 7: Jährliche Emissionen von Treibhausgasen in den einzelnen Szenarien (für 2020 nur Zubau gegenüber 2005 betrachtet)



Die folgende Tabelle führt die Datengrundlage zu Abbildung 7 auf.

Tabelle 20: Datentabelle zu den Szenarien der Gülle- und Gärrestnutzung

	2005	2020-65%	2020-80%	2020-80% +Einsp.	2020-80% +Einsp.o.KWK
<b>Emissionen durch</b>					
BHKW-100 kw	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000
BHKW-500 kw	0,050	0,673	0,846	0,423	0,423
BHKW-1MW	0,000	0,000	0,000	0,459	0,000
GuD-KW	0,000	0,000	0,000	0,000	0,389
<b>Emissionen Biogasnutzung</b>	<b>0,083</b>	<b>0,673</b>	<b>0,846</b>	<b>0,882</b>	<b>0,812</b>
<b>Substitution von</b>					
Substitution von Netzstrom	-0,381	-3,163	-3,973	-3,973	-3,973
Substitution von Gasheizungen	-0,152	-1,728	-2,171	-2,302	-1,085
<b>substitutierte Emissionen</b>	<b>-0,533</b>	<b>-4,891</b>	<b>-6,144</b>	<b>-6,275</b>	<b>-5,058</b>
<b>SALDO</b>	<b>-0,450</b>	<b>-4,217</b>	<b>-5,298</b>	<b>-5,392</b>	<b>-4,246</b>

#### 4.5.4 Fazit für die energetische Nutzung von Gülle

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

Die Ergebnisse der Szenariorechnungen zeigen eindeutig, dass die Nutzung von Biogas in KWK-Anlagen mit einer möglichst hohen Nutzung der Koppelwärme angestrebt werden sollte. Hierfür sollte das Biogas möglichst in dezentraler Kraft-Wärmekopplung genutzt werden. Da sich dies im ländlichen Raum nur bedingt realisieren lässt, bietet die Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz eine gute Alternative, um das Biogas mit hohen Wirkungsgraden zu nutzen. Hierfür ist eine Förderung von Nahwärmenetzen mindestens genauso wichtig wie die der Technologie für die Aufbereitung zur Einspeisung ins Erdgasnetz.

Mit der Zahlung des eines Güllebonus<sup>27</sup> bei einem Gülleanteil in der Biogasanlage von mindestens 30 Masseprozent wurde mit der EEG-Novelle für 2009 ein wichtiges Fördermoment zur Güllenutzung geschaffen. Ob die Höhe des Bonus für eine deutlich gesteigerte Güllenutzung ausreicht, werden die Praxiserfahrungen ab Januar zeigen. Falls nicht, sollte eine Anpassung der Vergütung stattfinden, um dieses hohe Potenzial mittelfristig nutzbar zu machen.

Der Förderrahmen des EEG sollte außerdem die Chance ergreifen, neben der Optimierung auf der Seite der Energienutzung auch eine optimale Prozessgestaltung auf der landtechnischen Seite zu forcieren: Es sollte insbesondere für alle Anlagen (auch Altanlagen) eine Pflicht zur abgeschlossenen Lagerung der Gärreste bestehen. Zusätzlich sollten die Gärreste mit Schleppschlauch oder Injektionsverfahren ausgebracht werden, um Emissionen in Wasser und Luft möglichst gering zu halten.

---

<sup>27</sup> 4 c/kWh für Anlagen bis 150 kW und 1 c/kWh für Anlagen bis 500 kW

## 5 Wirtschaftliches Potenzial

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgt mit Hilfe der Daten des Programms GEMIS sowie Annahmen zu Energiepreisentwicklungen bis 2030. Diese Annahmen sind die Voraussetzung für eine Gegenüberstellung der Kosten. Die entsprechenden Datenblätter befinden sich im Anhang.

Als Bemessungsgrundlage für die Wirtschaftlichkeit wurden die folgenden Indikatoren für die Analyse herangezogen:

1. Bereitstellungskosten
2. Unternehmensgewinn und
3. Gesamtkapitalrentabilität
4. Differenzkosten

Eine Anlage ist dann wirtschaftlich, wenn das gesamte eingesetzte Kapital und die Arbeit angemessen entlohnt sind. Letztlich zeigt der Unternehmergewinn, was nach Verzinsung des eingesetzten Kapitals und Entlohnung der Arbeitskräfte noch übrig bleibt. Dabei ist die wichtigste Einnahmequelle der Energieverkauf. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gewährleistet einen Mindestpreis sowie Abnahmegarantien für die Produzenten. Im Folgenden wird kurz dargestellt, welche Änderungen sich mit Inkrafttreten des novellierten EEG ab dem 01.01.2009 ergeben. Differenzierte Angaben befinden sich als Datenblatt am Ende des Kapitels.

Die Grundstruktur des Gesetzes bleibt erhalten, es wurde lediglich im Detail präziser und umfassender gestaltet. Anpassungen gab es im Bezug auf erhöhte Anforderungen an Anlagen, Regelungen zum Einspeisemanagement, technische Erklärungen (Positiv- und Negativlisten) sowie eine Anpassung der Vergütungssätze. Speziell für die Biomasse wurde z.B. der Nawaro-Bonus auf sieben Cent angehoben, der KWK-Bonus steigt von zwei auf drei Cent pro Kilowattstunde. Neu ist die Einführung eines Gülle-Bonus, wobei der Gülleanteil bei mindestens 30 Prozent liegen muss. Insgesamt hat die Stromerzeugung aus Biomasse sehr von der Novellierung profitiert, was sich auch in der Wirtschaftlichkeit der Anlagen widerspiegelt.

Für die Analyse der Wirtschaftlichkeit wurden verschiedenen Kostenfaktoren in die Rechnung einbezogen. Im Folgenden wird kurz definiert, welche Aspekte diese Faktoren beinhalten. Die Werte für die Kosten sind dem Programm GEMIS entnommen mit Ausnahme

der Brennstoffkosten, diese werden durch Multiplikation des spezifischen Wertes mit der Leistung des Prozesses und den jährlichen Betriebsstunden berechnet. Dabei wird das Vollast-Benutzungsstundenäquivalent (Vbh) zugrunde gelegt. Dies entspricht einer Anlagenverfügbarkeit von 91 Prozent. Eine schlechtere Auslastung kann zu Unwirtschaftlichkeit führen (KTBL 2008).

- Die Kapitalkosten sind die Kosten zur Deckung der Investitionen entsprechend der jeweiligen Lebensdauer der Anlage.
- Die variablen Kosten bzw. die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten verschiedene Kostenaspekte. Hier gesondert betrachtet werden die Brennstoffkosten und die Transportkosten. Unter „Sonstiges“ werden weitere Kosten betrachtet wie z.B. Versicherungen, Reparaturkosten.
- Die fixen Kosten, d.h. die betriebsgebundenen Kosten beinhalten Wartungskosten und Personalkosten. Sie werden durch die Multiplikation der spezifischen festen Jahreskosten mit der Leistung des Prozesses ermittelt. Sofern Investitionsminderungstechnologien mit dem Prozess verbunden sind, werden deren Investitionskosten ebenfalls berücksichtigt.

Auf der Erlösseite wurden folgende Einnahmearten berücksichtigt:

- Erlöse für den eingespeisten Strom nach EEG
- KWK-Bonus aufgrund der Nutzung von Wärme. Dieser Bonus wird anhand derjenigen Wärmemenge berechnet, welcher sich aus folgender Formel ergibt:

$$\text{KWK-Bonus berechnete Strommenge} = \text{Wärmemenge} * \text{Stromkennzahl}$$

Die Stromkennzahl stellt dabei das Verhältnis zwischen elektrischem und thermischem Wirkungsgrad dar. Die Stromkennzahl von Biogasanlagen z.B. liegt im Durchschnitt zwischen 0,7 und 0,78 (KTBL 2008).

- Gutschriften für die Substitution von fossilen Energieträgern in Anlehnung an die Ersparnis für den Kauf von CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikaten

$$\text{Energiebereitstellungskosten} = \frac{\text{Gesamtkosten}}{\text{Leistung} * \text{Betriebsstunden}}$$

$$\text{Unternehmergewinn} = \text{Erlösen} - \text{Kosten}$$

$$\text{Gesamtkapitalrentabilität} = \frac{\text{Reingewinn} + \text{Fremdkapitalzinsen}}{\text{Investitionsvolumen}}$$

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen an ausgewählten Anlagen vorgestellt. Bei den Anlagenvarianten wird das Bezugsjahr 2005 unterstellt. Es werden jeweils die Ergebnisse für das Jahr 2005 und das Jahr 2030<sup>28</sup> vorgestellt. Die Auswahl der Anlagenvarianten basierte auf den zuvor durchgeführten Potenzialanalysen. Aufgrund der Tatsache, dass besonders Gülle, Waldrestholz und Stroh attraktive Potenziale aufwiesen, wurden Anlagen mit diesen Rohstoffen zum wirtschaftlichen Vergleich gewählt. Es wird in den Segmenten Strom, Wärme und Kraftstoff verglichen. Parallel dazu waren Referenztechnologien notwendig, deren Werte zum Vergleich für die Anlagen mit biogener Reststoffnutzung herangezogen wurden. Dafür wurden Modellanlagen gewählt, die in ausreichender Stückzahl am Markt vorhanden sind und die typisch für die Inbetriebnahme im Jahr 2005 waren.

Tabelle 21: Auswahlkriterien für die zu untersuchenden Modellanlagen der Wirtschaftlichkeitsanalyse

<b>Charakteristikum</b>	<b>Auswahlkriterium</b>
Substrate	Auswahl repräsentativer Abfallreststoffe aus verschiedenen Substratgruppen Berücksichtigung praxisrelevanter Mischungsverhältnisse Berücksichtigung von Substraten mit bekannten Gasertragsparametern
Anlagenleistung	Berücksichtigung praxisnaher Anlagengrößen innerhalb definierter Größenklassen
Technische Auslegung	Auswahl von Standards für Bauteile und Komponenten Dimensionierung und Auslegung erfolgt substrat- und mengenspezifisch
Betrieb	Berücksichtigung praxisnaher Betreibermodelle

Quelle: KTBL 2004

Der Investitionsbedarf der Anlagen wurde unter der Voraussetzung, dass keine außergewöhnlichen Baubedingungen zu Grunde liegen, festgelegt. Des Weiteren wurde

<sup>28</sup> Im Gegensatz zu den Szenarien beziehen sich hier die Zahlen auf das Jahr 2020 (statt 2030), da für diesen Zeitpunkt GEMIS-Daten verfügbar waren. Da aber für keine der Technologien eine sprunghafte ökonomische oder technische Veränderung in der Dekade zwischen 2020 und 2030 angenommen wird, stimmen die Relationen der Aussagen trotz der unterschiedlichen Zeitpunkte überein.

darauf geachtet, dass die Auslegung der BHKW genau auf die unterstellten Substratmengen abgestellt ist. Dies ist zwar in der Praxis nicht immer der Fall, wird aber in dieser Modellrechnung angenommen. Um einen adäquaten Vergleich zu ermöglichen wurden die Betriebsstunden in den jeweiligen Anlagenkategorien angepasst, so dass ähnliche Anlagen die gleichen Anzahl an Nutzungstunden zugrunde liegt.

Die wichtigen Einflussfaktoren in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit sind neben dem Strompreis, der in diesem Falle nicht beeinflussbar ist das BHKW, die Gasausbeute, die Gasqualität und die Anschaffungskosten. Die dargestellte Reihenfolge zeigt die Höhe des Einflusses der jeweiligen Parameter. Das BHKW kann durch das Erreichen des optimalen Wirkungsgrades deutlich mehr zur Wirtschaftlichkeit beitragen, als eine Verminderung der Anschaffungskosten. Die Gasausbeute bzw. der Gasertrag steht direkt proportional zu den Einnahmen anhand der Werte aus dem EEG. Die Qualität des Gases wiederum hat Einfluss auf die Langlebigkeit der Anlage selbst. Je besser das Gas, desto weniger „Alterserscheinungen“ treten auf. So z.B. kann durch hohe Schwefelwasserstoffkonzentrationen das Motoröl schneller „altern“ und so den Motor und dessen Aktivität negativ beeinflussen.

Investitionskosten tendenziell einem Anstieg unterworfen, Ursache sind Maßnahmen zur Wirkungsgradsteigerung, Preiserhöhungen am Stahlmarkt, Verschiebung der Wettbewerbsbedingungen am Markt.

Nach Aussagen des Monitoring-Berichts lassen sich keine verbindlichen Aussagen zur Wirkung des KWK-Bonus machen [IE 2008]. Dies ist u.a. der langen Vorlaufzeit bis zum Anfahren der Anlage geschuldet. Die Einführung des Nawaro-Bonus führte zum vermehrten Einsatz von Waldrestholz.



## 6 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse

Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen, dass die Entwicklung der Energiebereitstellungskosten für die verschiedenen Anlagen im Vergleich zur Referenztechnologie besonders im Wärmebereich wirtschaftlich sind - und dies ohne große Förderung. Im Stromsektor sind die Mehrkosten gegenüber den Referenztechnologien deutlich, mit Ausnahme der Mitverbrennung von Biomasse in Kohlekraftwerk sowie die Biogasnutzung aus Biomüll (insbesondere bei der Einrechnung der Entsorgungsgebühren).

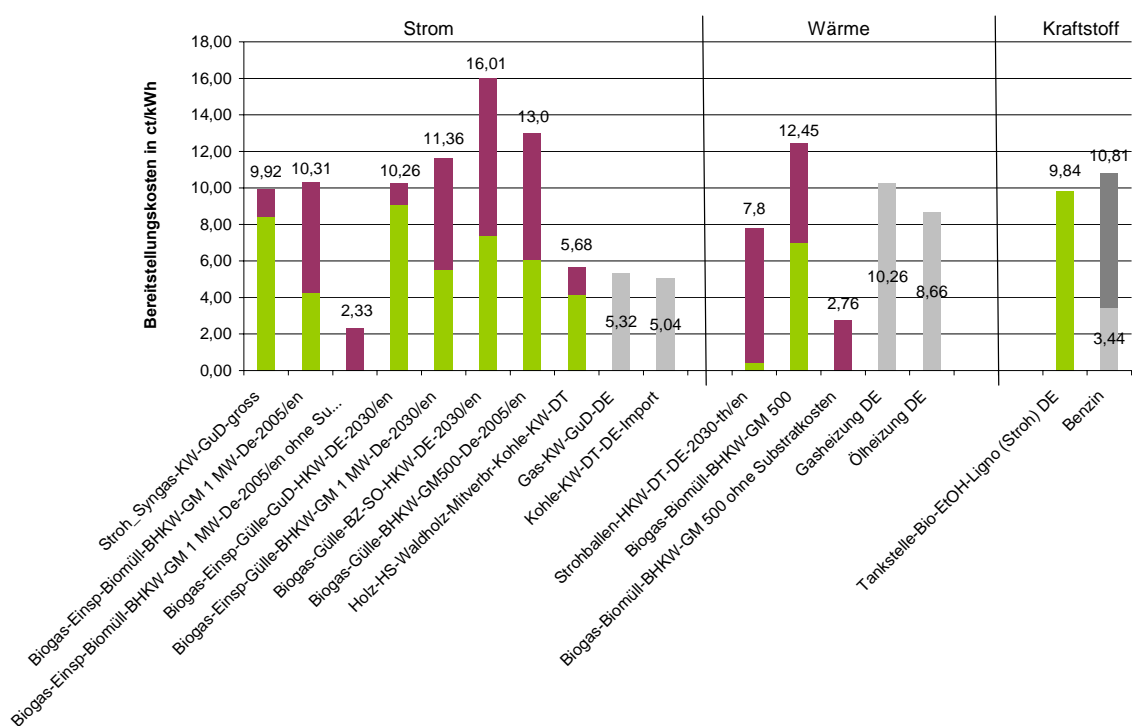


Abbildung 8: Energiebereitstellungskosten für verschiedenen Anlagen, Jahr 2005 (eigene Berechnungen)

**Legende:**

- weinrot: Anteil Erlöse an den Bereitstellungskosten
- grün: Bereitstellungskosten ohne Erlösanteil
- grau: Bereitstellungskosten der Referenztechnologien
- dunkelgrau: Steueranteil am Kraftstoffpreis

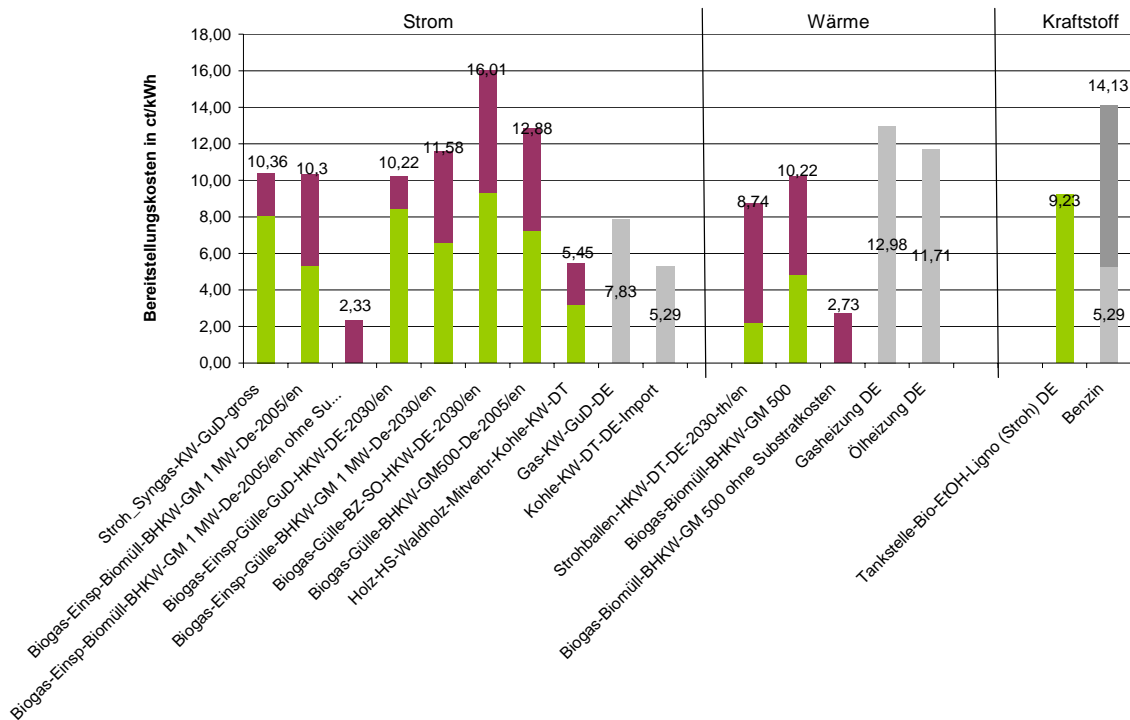


Abbildung 9: Energiebereitstellungskosten für verschiedenen Anlagen, Jahr 2030 (eigene Berechnungen)

**Legende:**  
 weinrot: Anteil Erlöse an den Bereitstellungskosten  
 grün: Bereitstellungskosten ohne Erlösanteil  
 grau: Bereitstellungskosten der Referenztechnologien  
 dunkelgrau: Steueranteil am Kraftstoffpreis

### 6.1 Stroh

Die Potenzialschätzungen für die nächsten Jahre zeigen, dass die Bedeutung der Strohnutzung im Energiebereich erheblich ansteigt. Dies bezieht sich sowohl auf den Bereich der Wärmenutzung als auch auf die Produktion von Ethanol und BtL-Kraftstoffen.

Loses oder gepresstes Stroh kann allerdings nur im engen Umkreis der Felder verwendet werden, da die Lagerung und der Transport über weite Strecken sehr aufwendig und daher kostenintensiv ist.

Im Falle der Nutzung von Strohpellets ändert sich die Praktikabilität und das Stroh lässt sich deutlich einfacher einsetzen. Die Rohstoffkosten im Falle der Pellets werden im Wesentlichen vom Strohpreis und dem Transportaufwand bestimmt. Der Strohpreis setzt sich zusammen aus der Kalkulation des Düngewertes und der Kosten der Lagerung. Um die Rohstoffkosten für die energetische Nutzung im Rahmen zu halten, sollte daher auf einen geringen Nährstoffgehalt des Strohs geachtet werden. Für die Herstellung von Pellets eignet sich besonders Weizenstroh, dessen Düngewert auch relativ gering ist. Die Pelletierkosten selbst können durch eine hohe Auslastung gesenkt werden. Da der Anteil der Kapitalkosten an den Produktionskosten hoch ist, wäre eine Voraussetzung für eine wirtschaftliche Anlagennutzung, dass die Nachfrage nach Strohpellets entsprechend hoch ist [Conseur, Fuchs 2006]. Mögliche Preissteigerungen sind durch eine erhöhte Nachfrage nach Stroh zur Ethanolherstellung möglich. Der Markt für Strohpellets ist derzeit noch relativ klein. Es gibt bisher nur wenige Unternehmen, die Strohpellets anbieten. Dies könnte sich aber mittel- bis langfristig ändern, wenn die entsprechenden Rahmenbedingungen, d.h. Fördermechanismen geschaffen werden. Der Kostenvorteil gegenüber Heizöl ist unübersehbar. Selbst gegenüber Holzpellets sind Strohpellets mit ca. 1 ct/kWh günstiger. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die Nutzung von Strohpellets die Kosten für Wärme um bis zu 50 Prozent gegenüber der konventionellen Nutzung reduziert werden können [FNR 2006].

Stroh als typisches Halmgut verursacht bei der thermischen Verwertung, insbesondere bei der Stromerzeugung, erhöhte Aufwendungen. Als Beispiel sei die Hochtemperaturkorrosion im Dampfkraftprozess angeführt. Die Bereitstellungskosten pro Tonne Trockenmasse frei Kraftwerk liegen bei mindestens 60 € und damit im Bereich des Waldrest- und Durchforstungsholzes. Aus betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten wird bei den gegenwärtigen Boni-Regelungen somit immer dem Holz der Vorrang eingeräumt werden. Eine verstärkte Nutzung von Stroh deutet sich im Wärmebereich, z.B. mit Pelletheizungen an. Um das vorhandene Strohpotential für die Stromerzeugung zu aktivieren, müssten Anlagen zur Verstromung von Halmgut den Technologiebonus oder den Nawaro-Bonus einschließlich des KWK-Bonus erhalten [IE 2007]

## **6.2 Waldrestholz**

Ein weiterer potenzialträchtiger biogener Reststoff ist das Waldrestholz. Hier sind insbesondere Hackschnitzel zu nennen, die beim Einschlag des Waldholzes anfallen. Nach FNR [2006] existiert derzeit die Nutzung von Waldrestholz vorwiegend in ländlichen und waldreichen Gegenden. Da in den vergangenen Jahren der Markt für Hackgutfeuerungen

nur sehr langsam gewachsen ist, sind die Anlageinvestitionen auf einem sehr hohen Niveau. Ein wesentlicher Kostenfaktor ist die Lagerung von Waldrestholz oder auch der zusätzliche Aufwand, für die thermische Trocknung.

### **6.3 Gülle**

Die hier betrachteten Gülleanlagen werden ausschließlich mit Gülle betrieben (Monovergärung). Es ist anzumerken, dass die Anlagen, die unter die Vergütungsregel des Gülle-Bonus fallen, rentabel sind, wenn auch die Gestehungskosten ca. dem Doppelten der Referenzanlagen entsprechen. Die Einführung des Gülle-Bonus ist erfolgreich für Kleinanlagen und unterstützt vor diesem Hintergrund kleinere landwirtschaftliche Betriebe.

### **6.4 Bioabfall**

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse betrachtet nur Anlagen zur Vergärung von Biomüll, Anlagen zur Beseitigung von Grünabfall wurden mangels verfügbarer Daten zur Wirtschaftlichkeit außer Acht gelassen.

Die Analyse der Kostendaten hat gezeigt, dass die Biogasgewinnung und Verstromung von allen betrachteten Optionen zur Stromerzeugung aus Biomassereststoffen die wirtschaftlichste ist. Dies liegt darin begründet, dass das Substrat den Anlagen quasi kostenfrei zur Verfügung steht, da die Substratkosten bereits über die Müllgebühren abgedeckt sind. Vor dem Hintergrund der vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber der Kompostierung und der Verwendbarkeit des Gärrestes als Düngemittel, sollte die Vergärung von Biomüll unbedingt ausgebaut werden.

### **6.5 Schlussfolgerungen**

Die dargestellten Bioenergieprozesse zeigen im Hinblick auf ihre Gestehungskosten eine Bandbreite zwischen 5,45 ct/kWh und 17,67 ct/kWh. Dies entspricht auch dem Kostenniveau für die Gestehungskosten für Strom. Bei der Wärmebereitstellung liegt das Kostenniveau zwischen 8,74 ct/kWh und 11,07 ct/kWh. Im Bereich der Kraftstoffbereitstellung liegen die Gestehungskosten mit 9,23 ct/kWh bzw. 10,68 ct/kWh vergleichsweise günstig.

Innerhalb der Kraftstoffketten spielen die Rohstoffkosten eine wesentliche Rolle. Ebenfalls deutlich wird, dass hier die Betriebskosten teuer sind.

Bei der Mitverbrennung wird deutlich, dass das Verbrennen von Holzhackschnitzeln im Kohlekraftwerk günstige Stromgestehungskosten induziert. Die Gestehungskosten für Pellets bei der Mitverbrennung im Kohlekraftwerk sind deutlich teurer. Dies ist auf die Zusatzkosten für Anlageinvestitionen zurückzuführen.

Die dargestellten Optionen der Güllevergärung zeigen durchschnittliche Gestehungskosten von 10 ct/kWh. Des Weiteren ist festzustellen, dass die Rentabilität der Gülleanlagen außer bei der Gülle-GuD-Option im positiven Bereich liegt.

Stroh, Waldrestholz, Bioabfall und Gülle stellen mengenmäßig eine ökonomisch interessante Variante als regenerativer Energieträger dar. Besonders die Nutzung von Getreidestroh, dass derzeit aufgrund von schlechten Verbrennungseigenschaften wenig energetische Nutzung findet, wird sich mittel- bis langfristig ändern. Es bedarf jedoch einer aktiven Förderpolitik, um Alternativen wie Strohpellets stärker in den Markt zu bringen.

Waldrestholz hat derzeit schon seinen Platz im Wärmemarkt, da hier Wirkungsgrad und Wertschöpfung am höchsten sind. Im Vergleich zur Nutzung von Heizöl wird Waldrestholz auch ohne Subventionen auskommen, da die langfristig ein hohes Preisniveau von Heizöl zu erwarten ist. Hingegen ist auf der Stromseite bei großen Anlagen ein Defizit zu erkennen, da Anlagen über 20 MW nicht in den Vergütungsrahmen des EEG fallen.

Eine konkurrenzfähige Erzeugung von Strom aus Waldrestholz und Stroh ist derzeit nicht möglich, auch wenn die Förderbedingungen des EEG zugrunde gelegt werden. Eine Mitverbrennung im Steinkohlekraftwerk ist da immer noch am effektivsten, bzw. der Subventionsbedarf wäre am geringsten, auch wenn es sich dabei nur um eine Übergangsnutzung handeln sollte. Es ist daher zu diskutieren, ob die Einspeisevergütung auf große Anlagen und auch auf die Mitverbrennung ausgeweitet werden kann, vor allem mit dem Ziel das Stroh für eine energetische Nutzung zu mobilisieren. Andernfalls bleibt die Strohnutzung wohl vorerst auf heutigem Niveau, denn nach Leible [2006] ist die Mitverbrennung von biogenen Rest- und Abfallstoffen in Steinkohlekraftwerken nur dann wirtschaftlich, wenn die Aufnahme von Alt- und Industrieresthölzern mit Erlösen verbunden ist.



	Einheit	Wärme- produk- tion	Stromproduktion			Strom- und Wärmeproduktion							Kraftstoffproduktion	
			Stroh-KW	Mitverbrennung Kohle-KW		Strohballen- HKW	Biomüll- BHKW	Biogas- Einsp- Biomüll- BHKW	Biogas-Einsp- Gülle GuD	Gülle BHKW	Gülle-HKW	Gülle BHKW	Bioethanol	BtL
Leistung	kW <sub>th</sub> /kW <sub>el</sub>	10	216.000	30.000	70.000	5.000	500	1.000	40.000	1.000	300	450	1.000	221.000
Rohstoffbasis		Pellets	Bio-Syngas	Strohpellets	Holz-HS	Strohballen	Biomüll	Biomüll	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Strohballen	Waldholz
Auslastung (Vbh)	h/a	1.600	6.000	6.000	6.000	8.000	6.000	7.800	6.000	7.800	5.000	8.000	5.000	5.000
Wärmeproduktion	MWh <sub>th</sub> /a	16				20.000.000	1.590.000	2.730.000	52.800.000	2.652.000	180.000	1.152.000		
Stromproduktion			1.296.000.000	180.000.000	420.000.000		1.410.000	5.070.000	187.200.000	5.070.000	1.320.000	2.448.000		
Kraftstoffproduktion													5.000.000	1.105.000.000
Investitionsvolumen	€	8.452	124.717.000	11.025.000	11.025.000	655.128	352.065	717.150	28.350.000	717.150	346.500	367.500	5.565.600	5.114.800
Erlöse	€/a		19.440.000	2.717.280	6.340.320	2.954.000	163.506	472.383	2.808.000	472.383	129.191	249.522		
variable Kosten	€/a	664	110.930.940	21.337.604	20.395.674	3.051.076	295.386	704.370	19.924.500	797.951	158.474	386.526	90.360	66.364.660
fixe Kosten	€/a	1.204	17.653.320	3.460.965	3.460.965	8.904	77.990	99.739	4.692.040	99.739	81.618	81.299	401.580	47.556.500
Brennstoff/- Inputkosten	€/a	643	109.679.000	16.650.000	15.261.674	2.566.957	290.598	622.470	19.584.300	716.051	158.474	386.526	90.360	56.364.400
Bereitstellungs- kosten	ct/kWh	11,7	9,9	13,8	5,5	7,8	12,4	10,3	10,3	11,6	16,0	13,0	9,8	10,3
Unternehmensgewinn	€/a	-1.868	-109.144.260	-27.670.850	-13.238.095	2.786.181	-46.364	-23.873	-21.808.540	47.076	18.290	31.220	-491.940	-113.921.160
Gesamtkapital- rentabilität	%	-33,1	-78,1	-208,3	-128,1	415,8	-2,5	7,7	-67,5	17,5	16,3	19,5	-7,0	-20,0

Tabelle 22: Differenzkosten der spezifischen Gestehungskosten

	Differenzkosten im Vergleich zu Gas-KW	Differenzkosten im Vergleich zu Kohle-KW	Differenzkosten im Vergleich zu Gas-KW	Differenzkosten im Vergleich zu Kohle-KW
	2005		2030	
Stroh_Syngas-KW-GuD-gross	4,60	4,88	2,52	5,07
Biogas-Einsp-Biomüll-BHKW-GM 1 MW-De-2005/en	4,99	5,27	2,47	5,01
Biogas-Einsp-Biomüll-BHKW-GM 1 MW-De-2005/en ohne Substratk.	-2,99	-2,71	-5,51	-2,96
Biogas-Einsp-Gülle-GuD-HKW-DE-2030/en	4,94	5,21	2,39	4,93
Biogas-Einsp-Gülle-BHKW-GM 1 MW-De-2030/en	6,31	6,58	3,75	6,29
Biogas-Gülle-BZ-SO-HKW-DE-2030/en	10,69	10,96	8,17	10,72
Biogas-Gülle-BHKW-GM500-De-2005/en	7,68	7,95	5,04	7,59
Stroh-Pellets-Mitverbr-Kohle-KW-DT-DE-2030	8,46	8,73	9,84	12,38
Holz-HS-Waldholz-Mitverbr-Kohle-KW-DT	0,36	0,64	-2,38	0,16
	Differenzkosten im Vergleich zu Öl	Differenzkosten im Vergleich zu Gas	Differenzkosten im Vergleich zu Öl	Differenzkosten im Vergleich zu Gas
	2005		2030	
Holz-Pellet-Holzwirtschaft-Heizung 10 kW 2005	3,01	1,42	-0,64	-1,91
Strohballen-HKW-DT-DE-2030-th/en	-0,86	-2,45	-2,97	-4,23
Biogas-Biomüll-BHKW-GM 500	3,78	2,19	-1,49	-2,76
	Differenzkosten im Vergleich Benzin	Differenzkosten im Vergleich Benzin		
	2005	2030		
Tankstelle-Bio-EtOH-Ligno (Stroh) DE	6,40	3,94		
Vergaser FS+FT-Synthese/BtL-Waldholz-De	6,87	5,93		

Erläuterung: ein negatives Ergebnis kennzeichnet ein im Vergleich zur fossilen Referenz günstigere Bioenergieanlage. Diese Felder sind zur grau hinterlegt.



## 7 Fazit

Die näher untersuchten Biomassereststoffe weisen zusammen ein technisch-ökologisches Potenzial von ca. 450 bis 500 PJ auf. Etwa 60 % davon, ca. 270 bis 410 PJ sind noch ungenutzt. Werden auch die bisher ungenutzten Potenziale wie in den bilanzierten Szenarien einer energetischen Nutzung zugeführt, ließen sich damit zusätzlich zu dem heutigen Beitrag aus Biomassereststoffen THG-Minderungen von 16 bis 26 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je Jahr realisieren (vgl. Tabelle 23).

Tabelle 23: Übersicht über die technisch-ökologischen Potenziale und die damit erzielbaren THG-Minderungen für die betrachteten Biomasse-Reststoffe

Reststoff	techn.-ökol. Potenzial PJ	davon ungenutzt PJ	THG- Minderung Mio t CO <sub>2</sub> -eq.		Technologie
<b>Bioabfall</b>	22,77	20,7	1,4		BHKW
			1,2		Gaseinspeisung + BHKW
<b>Grünabfall</b>	25,74	23,4	1,3	*	3-stufige Trennung
<b>Waldrestholz</b>	min: 236	44	4,4		HHKW-HS (min)
	max: 283	88	8,8		HHKW-HS (max)
		24,6	1,6	*	Pelletheizungen (min)
<b>Stroh</b>	69,4	67,5	7,0		MV Kohle (Ballen)
			2,4		MV GuD (Synthesegas)
			2,6		EtOH
<b>Gülle</b>	93,52	87,8	5,2		Zubau 65%
			5,4		Zubau 80% +Einsp.+KWK

\* Die angegebenen THG-Minderungen beziehen sich jeweils auf das gesamte ungenutzte Potenzial eines Reststoffes und sind deshalb nur alternativ nutzbar. Die beiden mit Stern gekennzeichneten Szenarien sind zusätzliche Nutzungen, die addiert werden können.

Abbildung 10 zeigt die bilanzierten THG-Minderungspotenziale für die untersuchten Biomassen als Übersicht. Es zeigt sich, dass insbesondere im Bereich des Waldrestholzes hohe Potenziale liegen und dass die dort bestehenden Datenunsicherheiten (vgl. Kapitel 3.2) deshalb schnell behoben werden sollten.

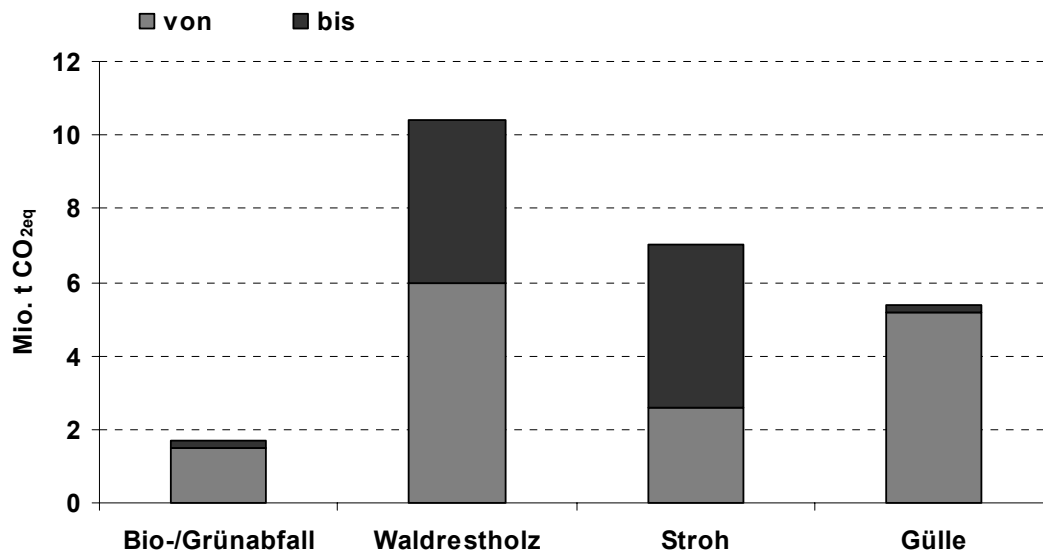


Abbildung 10: Zusammenfassende Darstellung der bilanzierten THG-Minderungspotenziale für untersuchten Biomassereststoffe

Ausgehend von 1.228 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je Jahr in 1990 bedeutet das Reduktionsziel in Deutschland bis 2020 von 40 %, dass insgesamt eine Reduktion um 491 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je Jahr notwendig ist. Der Beitrag zum Erreichen dieses Klimaschutzziels allein durch die Steigerung der Nutzung von Biomassereststoffen ist mit 3,3 % bis zu 5,2 % beachtlich.

Der heute durch die Biomassenutzung schon erbrachte Beitrag an der Vermeidung von THG-Emissionen von 115 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je Jahr könnte damit auf 130 bis 140 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je Jahr gesteigert werden. Die Biomasse könnte dann ihren Gesamtbeitrag am Reduktionsziel bis 2020 von etwa 23 % auf bis zu 29 % steigern, nur durch eine intensivere Nutzung der Biomassereststoffe.

Um diese Potenziale zu erschließen muss mit eine Portfolio an Maßnahmen und Instrumenten ein Umsetzungsprogramm initiiert werden, da die Anteile, die unter den heutigen Rahmenbedingungen zu erschließen sind bereits genutzt werden.

## 8 Umsetzungsstrategien

Umsetzungsstrategien zur Mobilisierung des Klimaschutzpotenzials sollten sich aus einem Mix unterschiedlichster Maßnahmen und Instrumente bedienen, die:

- die Wirtschaftlichkeit der Nutzung der Abfall- bzw. Reststoffbiomasse verbessern (z.B. Investitionshilfen, Anschubfinanzierung, Subventionierung der Erlöse),
- den Absatz der Produkte (z.B. Gas, Strom, Wärme, Werkstoffe aus Biomasse) sicherstellen (Zumischungsquoten),
- die Entwicklung neuer, innovativer Techniken unterstützen (ZIP),
- die Rahmenbedingen zur Nutzung der Produkte verbessern (Wärmenetze, Gasnetze), und
- die beteiligten Akteure informieren und motivieren sowie zu einem internen Informationsaustausch anregen (Akteurskettenkooperation).

### 8.1 Förderung von Wärmenetzen

Häufig sind fehlende Wärmenetze ein Grund dafür, dass keine Abnehmer für die Wärme aus Biomasseheizkraftwerken gefunden werden können. Dies führt häufig dazu, dass Planungen eingestellt werden, weil die Wirtschaftlichkeit trotz EEG ohne Wärmenutzung oft nicht gegeben ist. Die relativ geringe Rate der Neuerrichtung bzw. Erweiterung von Wärmenetzen stellt somit häufig ein Investitionshemmnis für - aus der Sicht des Klimaschutzes - sinnvolle Projekte dar.

Die Förderung von Fernwärmenetzen vor allem durch Investitionshilfen würde die Wärmenutzung auch bei herkömmlichen Energiegewinnungs- oder Produktionsanlagen und Solaranlagen steigern.

Für die Förderung von Wärmenetzen müsste ein Investitionsförderungsprogramm eingeführt werden, das in der Größenordnung von 25-35%<sup>29</sup> der Investitionskosten bezuschusst bzw. äquivalente Finanzierungsbedingungen (Zinsverbilligung) bietet.

Zur Finanzierung dieses Instruments ist die Kopplung mit weiteren hier diskutierten Maßnahmen möglich. Außerdem sollten die Bedingungen zur Einspeisung von Wärme aus regenerativen Brennstoffen und KWK (mindestens zu marktüblichen Bedingungen) in die geförderten Wärmenetze geregelt werden.

## 8.2 Regeneratives Wärmegesetz

Die Bereitstellung von erneuerbarer Energie in Form von Wärme sollte (neben Strom) stärker gefördert werden. Hierzu ist ein regeneratives Wärmegesetz nach dem Vorbild des EEG notwendig. Eine alleinige Quotierung von erneuerbarer Wärme im Neubaubereich<sup>30</sup>, wie sie das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) vorsieht, ist nicht wirkmächtig genug, um für die bereits bestehende Wärmenachfrage den Anteil regenerativer Wärme kurzfristig und nennenswert zu steigern.

Möglich wäre zur Förderung der Wärmenutzung eine Wärmeeinspeisungsvergütung, bei der (nach dem Vorbild der Vergütung für Strom im EEG) die Einspeisung von Wärme in Wärmenetze über den Marktpreis hinaus durch eine – auf alle Wärmekunden umzulegende – Vergütung bezuschusst wird. Da eine entsprechende Förderung grundsätzlich nur auf die bisher nicht umsetzbaren Wärmeanteile abzielen kann, muss der Status Quo der Wärmeauskopplung bei bestehenden Anlagen als Bemessungsgrundlage definiert werden.

Die Finanzierung der Vergütungen für ausgekoppelte Wärme muss mehr oder weniger aufkommensneutral aus dem System selbst bereitgestellt werden. Eine entsprechende Regelung zur Finanzierung ist beim Wärmemarkt, der häufig für jeden Einzelfall ganz spezielle Rahmenbedingungen aufweist, deutlich schwieriger zu finden als beim Strommarkt.

---

<sup>29</sup> Das Zukunftsinvestitionsprogramm ZIP 1 löste von 1977 bis 1981 mit einer Fördersumme von 730 Mio. DM eine Investitionssumme von 2,6 Mrd. DM aus, was einer Förderquote von 28 % entsprach [AGFW 2000]

<sup>30</sup> Für Altbauten wurde von einer Quote abgesehen und statt dessen soll der Nutzungsanreiz für erneuerbare Wärme über ein Förderprogramm gewährleistet werden.

### **8.3 Abwärmeabgabe**

Durch eine Abwärmeabgabe würde die Wirtschaftlichkeit zur Auskopplung von Wärme eher erreicht werden, da neben den Einnahmen für die abgegebene Wärme noch eingesparte Abgaben zu Buche schlagen, das System also doppelt wirkt. Das Abgabenaufkommen muss zweckgebunden eingesetzt werden, also den gleichen Zweck verfolgen wie die Abgabe selbst. Deshalb hat die Aufgabe gleich in doppelter Hinsicht lenkende Wirkung: durch die Erhebung der Abgabe und insbesondere durch ihre Aufkommensverwendung. Infrage kommen dafür die hier diskutierten Instrumente, wie beispielsweise die Förderung der Wärmenetze und das regenerative Wärmegegesetz.

Die Bemessung der Höhe einer Abwärmeabgabe sollte differenziert ausgestaltet sein und Altanlagen, bei denen trotz in Anspruchnahme von Förderinstrumenten zur Abwärmenutzung keine Wirtschaftlichkeit erreicht werden kann, in geringerem Umfang belasten als Neuanlagen. Die Abwärmeabgabe sollte außerdem den Stand der Technik berücksichtigen. Das heißt, die Abgabe würde nur für Anlagen anfallen, die mehr Abwärme produzieren, als dem Stand der Technik entspricht.

Der Nachteil einer Wärmeabgabe ist, dass eine Akzeptanz hierfür bei den Betroffenen schwer zu erreichen sein wird. Neben den zusätzlichen finanziellen Belastungen wird oft auch der zusätzliche Verwaltungsaufwand ins Feld geführt.

Auf der Nachfrageseite können Abgaben für Wärmenutzer, die nicht mindestens einen vorzugebenden Teil ihrer Wärme aus KWK oder regenerativ erzeugter Wärme beziehen, die Nachfrage nach KWK-Wärme steigern. Ebenfalls könnten Wärmenetzbetreiber ein Mindestanteil an Wärme aus KWK oder regenerativen Brennstoffen vorgegeben werden.

### **8.4 Förderung von Premiumstrom und -wärme**

Anlagenbetreiber könnten auch eine Prämie für Strom und Wärme erhalten, die aus Leistungszuwachs infolge einer Effizienzsteigerung resultieren. Dazu wäre der Standard der Energienutzung (Strom und Wärme) zu definieren. Die zusätzlich ausgekoppelte Energie in optimierten Anlagen wird als „Premiumstrom“ bzw. „Premiumwärme“ bezuschusst.

Entsprechende Programme werden in den Niederlanden z.B. bei der Müllverbrennung erfolgreich durchgeführt. Der Vorteil ist, dass ganz gezielt nur der Teil der abgegebenen Energie gefördert wird, der über das übliche Maß hinaus genutzt wird. Hierdurch würden auch Anlagen profitieren, die bereits in der Vergangenheit gute Wirkungsgrade erreicht haben und damit eine Vorreiterrolle übernommen haben. Für die Finanzierung dieses Instruments muss der Energiemarkt die Mittel selbst erbringen.

### **8.5 Förderung von KWK-Strom**

Die Förderung von KWK-Strom und damit indirekt auch der KWK-Wärme ist bereits im Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 1. April 2002 geregelt. Eine Steigerung der Bonussätze könnte die Auskopplung von Wärme wirtschaftlich attraktiver gestalten. Die Akzeptanz der Netzbetreiber an der Finanzierung erhöhter Boni für KWK-Strom ist allerdings gering.

### **8.6 Investitionsprogramm zur Förderung von Zukunftstechnologien (ZIP)**

Insgesamt könnte ein Investitionsprogramm zur Förderung von Zukunftstechnologien (ZIP) die energetische Nutzung von Biomasse deutlich unterstützen. Beispielsweise könnte durch die Weiterentwicklung moderner Wärmenutzungstechnologien, wie etwa Kältebereitstellung aus Wärme, Trocknungsverfahren auf der Basis von Niedrigtemperaturdampf usw. die Nutzung von Abwärme gesteigert werden. Besonders kommt es darauf an, zu Zeiten eines geringen Heizwärmebedarfs (in den Sommermonaten und nachts) geeignete Anwendungen für die verfügbare (Ab)Wärme weiter zu entwickeln.

Noch wichtiger als die Förderung von technischen Neuentwicklungen ist die Unterstützung bei der Markteinführung von neuen Technologien, die an der Grenze zur Marktreife stehen – dies sind insbesondere Biomassevergaser mit einer Leistung bis zu 5 MW Gasleistung sowie Kombinationen von größeren (Wirbelschicht-)Vergasern mit GuD-Heizkraftwerken in der Größenordnung von 10-20 MW<sub>el</sub>.

Hier sind staatliche Zuschüsse für risikorelevante Teile der Investitionen sowie Kreditgarantien geeignete Instrumente.

## 8.7 Investitionsförderungsprogramme (und MAP)

Praxisbeispiele zeigen, dass die Umsetzung von Projekten zur Nutzung von Biomasse oft durch die – berechtigten - Gewinnerwartungen möglicher Investoren behindert wird, da die Investition zwar meist *volkswirtschaftlich* rentabel sind, aber Kapitalrenditen von mehr als 10% nicht erzielen können. Häufig könnten solche Projekte in erheblichen Umfang zum Klimaschutz beitragen und gleichzeitig die regionale Wertschöpfung erheblich steigern. Um solche sinnvollen Vorhaben nicht schon in der Phase der Machbarkeitsstudien scheitern zu lassen, ist die kostengünstige Bereitstellung von Kapital durch staatliche Zinsverbilligungen und direkte Investitionszuschüsse bzw. deren Kombination eine wichtige Möglichkeit, die privaten Renditeziele von 10-12% auch bei Biomasseprojekten zu erreichen.

Als weiteres Hemmnis hat sich gezeigt, dass bei anstehenden Entscheidungen Anlagen zur Energiegewinnung aus fossiler Energie auf Grund der geringeren Investitionskosten auch dann der Vorzug gegeben wird, wenn eine Biomasseanlage über den Betriebszeitraum auf Grund der geringeren Betriebsmittelkosten die wirtschaftlichere Lösung darstellen würde. Um in solchen Fällen die ökologischere Lösung durchzusetzen, würde neben der Bereitstellung von „günstigem“ Kapital auch ein starkes Contracting- Angebot helfen. Contracting bietet in Kombination mit den o.g. Instrumenten zur Verbilligung der Kapitalkosten die Option, die Hürde der Kapitalbeschaffung zu senken und gleichzeitig das nicht unproblematische Verknüpfen von Anlageninvestition, Brennstoffbeschaffung und Wärme- bzw. Stromabsatz durch einen kompetenten Partner zu bündeln.

Mit Blick auf die umsetzbaren Potenziale sollte eine gezielte Förderung von Investitionen durch das Marktanreizprogramm (MAP) in den Bereichen vorgesehen werden:

- Umrüstung reiner Kompostwerke auf Vorschalt-Biogasanlagen
- Aufrüstung biogener Heizwerke auf Kraft-Wärme-Kopplung
- Nutzung biogener Energieträger in KWK-Anlagen und
- Ausbau der Wärmenutzung durch Netzinvestitionen

Um ein dynamisches Element in diese Förderprogramme zu integrieren sollten sie eine zeitliche Rampe enthalten (z.B. 25% Investitionsförderung im 1. Jahr, 20% im 2. und 15% im 3. Programm-Jahr), um eine schnelle Umsetzung zu erreichen.

## **8.8 Informations- und Motivationsprogramm**

In der Praxis zeigt sich häufig, dass trotz wirtschaftlicher Lösungen zur energetischen Nutzung von Biomasse, konkrete Planungen zur Mobilisierung der damit verbundenen Klimaschutzpotenziale nicht in Gange kommen. Dies liegt häufig daran, dass viele der beteiligten Akteure nicht über das Wissen um die Möglichkeiten der technisch und wirtschaftlich besten Umsetzungsstrategien verfügen. Deshalb ist es wichtig, alle Akteure regelmäßig über den Stand der Technik und die Nutzung von Förderungsprogrammen informiert werden. In anderen Bereichen (z.B. Recycling von mineralischen Abfällen) haben sich Projekte etabliert, die alle beteiligten Akteure in Gesprächsrunden zusammenbringen. Wichtige Akteure sind in diesem Zusammenhang insbesondere: Abfallerzeuger, Abfallentsorger (kommunal und privat), Abfallverwerter, Anlagenbetreiber (Abfallbehandlung und Energiegewinnung), Anlagenhersteller, Energieversorgungsunternehmen, Netzbetreiber (Gas, Strom, Wärme), Landwirte, Forstwirte, Behörden, Politiker.

Als ein wichtiges Beispiel der zur Motivierung der beteiligten Akteure kann die Förderung von Best-practice Beispielen dienen, in denen die Vorteile von innovativen Konzepten aufgezeigt und die in den Gesprächsrunden zur Akteurskooperation „von Praktiker zu Praktiker“ vorgestellt werden.



## 9 Literaturverzeichnis

- AGFW 1998 Arbeitsgemeinschaft Fernwärme: „AGFW-Hauptbericht zur Fernwärmeversorgung 1997“, Frankfurt a. M.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2008: „Erneuerbare Energien in Zahlen, nationale und internationale Entwicklung“, Bonn/Berlin
- BFH 2001 Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft: „Abschätzung des Rohholzpotentials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland“; M. Dieter; H. Englert (Hrsg). Hamburg
- Conseur, Martin, Fuchs, Prof. Dr. Clemens (2006): Mit Stroh preiswert heizen. In: Neue Landwirtschaft Nr. 12/2006
- DLR et al. (Deutsche Luft- und Raumfahrtzentrum) 2004: DLR, ifeu und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie“ Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal.
- EEA (European Environment Agency) 2006: How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. EEA Report 7/2006.
- EWI/Prognos 2005: EWI/Prognos - Studie: Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. BMWi Dokumentation Nr. 545.  
<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/energie,did=65014.htm>
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) 2006: Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow
- FSC 2001 Forest Stewardship Council: Deutscher FSC-Standard vom 28. November 2001; FSC Arbeitsgruppe Deutschland e.V., Freiburg
- FZK (Forschungszentrum Karlsruhe) 2003: Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen für das Institut für Technikfolgenabschätzung. Karlsruhe
- GBEP (Global Bio-Energy Partnership) 2007: A Review of the Current State of Bio-energy Development in G8 + 5 countries; GBEP Secretariat; Rome  
[http://www.globalbioenergy.org/fileadmin/user\\_upload/gbep/docs/2007\\_events/wecrome2007/MASTER\\_GBEP\\_Report\\_final\\_16.11.2007\\_01.pdf](http://www.globalbioenergy.org/fileadmin/user_upload/gbep/docs/2007_events/wecrome2007/MASTER_GBEP_Report_final_16.11.2007_01.pdf)
- IE (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH) 2003 „Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse“, Leipzig

- IE (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH) 2004 D. Merten, D. Falkenberg, M. Nill, M. Kaltschmitt: „Wärmegewinnung aus Biomasse, Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“, Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, Leipzig
- IE et al. (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH) 2005: IE, Universität Hohenheim, BFH und Öko-Institut „Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext“, Leipzig
- IE (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH) 2007 „Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse“, Leipzig
- IE (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH ) 2008 „Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse“, Leipzig
- Igelspacher 2006: Methode zur integrierten Bewertung von Prozessketten am Beispiel der Ethanolerzeugung aus Biomasse. Dissertation an der TU München, München.
- ifeu/ÖI 2006: Knappe, F.; Böß, A.; Fehrenbach, H.; Vogt, R.; Giegrich, J.; Wiegmann, K.; Dehoust, G.; Schüler, D.: „Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle“; Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heidelberg, Darmstadt
- Kranert/Gottschall 2007: Kranert, M., Gottschall, R.: „Grünabfälle – besser kompostieren oder energetisch verwerten?“ EdDE-Dokumentation 11, 2007
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) Hrsg. 2004: Die Landwirtschaft als Energieerzeuger. KTBL-Tagung vom 30. bis 31. März 2004 in Osnabrück. Darmstadt.
- LWF (Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft) 2006: Energieholzmarkt Bayern, Analyse der Holzpotenziale und der Nachfragestruktur. In LWF Wissen Nr. 53, Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising.
- Pretz 2005: Pretz, T., Uepping, R., Isaac, E.: „Brennstoffgewinnung aus Kompostrohstoffen“, EdDE-Dokumentation 8, 2005
- Öko-Institut et al. 2004: Öko-Institut; UMSICHT, ife; ifeu; izes, Institut für Geoökologie der Uni Braunschweig; Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus der TU München: „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“, Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU, Freiburg

Öko-Institut et al. 2008 Öko-Institut e.V., Ingenieursgemeinschaft Witzenhausen, FH-Mainz:  
„Optimierung der Abfallwirtschaft in Hamburg unter dem besonderen Aspekt des  
Klimaschutzes - Abfallwirtschaft und Klimaschutz“, Darmstadt, Witzenhausen, Mainz

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) 2007: Klimaschutz durch Biomasse (Sondergutachten)  
Berlin

Witzenhausen-Institut 2008 Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH:  
„Optimierung der biologischen Abfallbehandlung in Hessen“, Entwurf, Witzenhausen

LWF 2004 G. Neugebauer, S. Wittkopf, C. Baudisch, F. Günsche: „Hackschnitzel auf dem  
Vormarsch – Umfrage bei den bayerischen Biomasseheizwerken“; Bayerische  
Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF aktuell 48/2004

PEFC 2000 Pan-European Forest Certification: „Kriterien, Empfehlungen und Indikatoren für eine  
nachhaltige Waldbewirtschaftung auf regionaler Ebene“, Indikatorenliste in Deutschland,  
2000, <http://www.pefc.de/system/indikatoren.htm>

#### **Weitere Quellen:**

BBE (Bundesverband Bioenergie) 2008:  
[http://www.bioenergie.de/pm/PM2008/MC3%A4rz08/depv\\_maerz.html](http://www.bioenergie.de/pm/PM2008/MC3%A4rz08/depv_maerz.html); 2008

DEPV [2008] – Deutscher Energiepellets Verband, Marktdaten:  
<http://www.depv.de/marktdaten/entwicklung-pelletproduktion>

German Pellets 2008 German Pellets GmbH: Mündliche Mitteilung, Wismar, Dezember 2008

IGW 2008 Ingenieursgemeinschaft Witzenhausen: mündliche Mitteilung; November 2008

Lenz 2008 [http://www.zebau.de/pdf/080214\\_b107\\_lenz.pdf](http://www.zebau.de/pdf/080214_b107_lenz.pdf), 2008

Luick 2008, FH Rottenburg mündliche Mitteilung; November 2008

Müller-Langer 2008 Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ ehemals Institut für Energetik  
und Umwelt): mündliche Mitteilung; November 2008

PEFC 2003a Pan-European Forest Certification: Persönliches Gespräch 2003

## 10 Anhang

Tabelle 24: Wirkfaktoren für die Berechnung der Wirkungspotenziale

Wirkungskategorie	Wirkstoff	Wirkfaktor	Quelle
<b>GWP (Treibhauseffekt)</b> kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente (Bezug 100a)	CO <sub>2</sub> fossil	1	IPCC 2005
	CH <sub>4</sub> fossil	23	IPCC 2005
	N <sub>2</sub> O	296	IPCC 2005
	R11	4.680	IPCC 2005
	R12	10.720	IPCC 2005
	Iso-Butan (R600a)	3	StaBW 2004
	Cyclopentan	11	UNEP 2002