



Biomassenutzung - Schwerpunkt Biogas

August 2006

w.econ Unternehmensberatung KG
Kiel

w.econ Unternehmensberatung KG



Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	4
Anlagenverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis.....	6
1. Einleitung.....	9
2. Biomasse.....	10
2.1 Definition.....	10
2.2 Einordnung als Energielieferant.....	11
2.3 Entwicklung.....	13
2.4 Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien.....	14
2.5 Nutzung.....	16
2.6 Marktstruktur.....	17
3. Biogas aus Biomasse.....	19
3.1 Definition Biogas.....	19
3.2 Grundlagen des Biogasprozesses.....	20
3.3 Verfahrenstechniken.....	24
3.4 Substrate zur Biogaserzeugung.....	25
3.5 Reststoffe der Biogasproduktion und deren Verwertung.....	28
3.6 Nutzungsmöglichkeiten von Biogas.....	30
3.7 Rechtliche Aspekte.....	33
3.8 Förderprogramme.....	35
3.9 Marktstruktur.....	36
3.10 Probleme/Risiken der Biogastechnologie.....	37
3.11 Trends und Entwicklungen im Bereich Biogas.....	38
3.12 Faustzahlen und weiterführende Informationen.....	39
4. Fazit/Gesamtkontext.....	40
Literaturverzeichnis.....	41

Impressum:

Herausgeber:

w.econ Unternehmensberatung KG

Haselbusch 10 – 24146 Kiel

Tel.: 0431 8008-198

www.wecon-unternehmensberatung.de

Autor: Kai Rönnau



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Mindestvergütungen für Strom aus Biomasseneuanlagen.....	15
Tabelle 2: Übersicht zusätzliche Boni zur Grundvergütung nach EEG	15
Tabelle 3: Übersicht Zusammensetzung Biogas.....	19
Tabelle 4: Brenntechnische Kenndaten Biogas	20
Tabelle 5: Beispielhafte Verweildauer für Substrat Gülle.....	23
Tabelle 6: Übersicht Gefahrenpotenzial nach Substraten.....	27
Tabelle 7: Übersicht Preise und Verfügbarkeit ausgewählter Substrate.....	28
Tabelle 8: Veränderung Gülle-Zusammensetzung nach Biogasverfahren.....	29
Tabelle 9: Eigenschaften Gas-Otto-Motoren u. Zündstrahlmotoren.....	32

w.econ Unternehmensberatung KG



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch in Deutschland von 1998 - 2005.....	12
Abbildung 2: Primärenergieverbrauch in Deutschland	12
Abbildung 3: Zusammensetzung des Anteils der erneuerbaren Energie am Primärenergieverbrauch in Deutschland	13
Abbildung 4: Entwicklung Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch und am Bruttostromverbrauch.....	14
Abbildung 5: Übersicht Biomasseanlagen in Schleswig-Holstein.....	18
Abbildung 6: Phasen des Vergärungsprozesses	21
Abbildung 7: Übersicht Beschickungsarten Biogasanlagen	24
Abbildung 8: Übersicht Richtwerte Methanertrag aus verschiedenen Stoffen.....	26
Abbildung 9: Übersicht Verfahren zur Biogasaufbereitung.....	31
Abbildung 11: Biogasanlagen in Deutschland 1992 - 2005 (gelb); elektrische Anschlussleistung (blau); Prognose für 2005 (grün)	36
Abbildung 12: Biogasanlagenbestand in Deutschland nach Bundesländern (in Prozent) (Stand: Februar 2004)	37

w.econ Unternehmensberatung KG



Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Aufstellung Biomasseanlagen in Schleswig-Holstein.....	43
-----------	--	----

w.econ Unternehmensberatung KG



Abkürzungsverzeichnis

AbfG	Abfallgesetz
BauGB	Baugesetzbuch
BauO	Landesbauordnung
BauPrüf	Verordnungen über bautechnische Prüfungen
Bh	Betriebsstunden
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BioAbfIV	Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden
BiomasseV	Biomasseverordnung
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
CH ₄	Chemische Bezeichnung: Methan
CO ₂	Chemische Bezeichnung: Kohlendioxid
DLR	Deutsches Institut für Luft- und Raumfahrt
Dtl	Deutschland
DüMV	Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln
DüV	Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen
DWW	Druckwasserwäsche
EEG	Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien
EG	Europäische Gemeinschaft
EU-HygieneV	EU-Hygieneverordnung
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
GPS	Graspflanzensilage
GV	Großvieheinheit(en)



H ₂	Chemische Bezeichnung: Wasserstoff
H ₂ S	Chemische Bezeichnung: Schwefelwasserstoff
IVU	Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KrW	Kreislaufwirtschaftsgesetz
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde(n)
kWh _{th}	Kilowattstunde(n) _{thermisch}
KWK	Kraft-Wärme-Koppelung
LPG	Flüssigerdgas (Liquified Petroleum/Propane Gas)
N ₂	Chemische Bezeichnung: Stickstoff
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
N _{ges}	Chemische Bezeichnung: Stickstoffgehalt _{gesamt}
NH ₃	Chemische Bezeichnung: Ammoniak
NH ₄ -N-Gehalt	Chemische Bezeichnung: Ammonium-Stickstoff-Gehalt
O ₂	Chemische Bezeichnung: Sauerstoff
oTS	Organische Trockensubstanz
PCB	polychlorierte Biphenyle
PCT	polychlorierte Terphenyle
pH- Wert	Maß für Stärke der sauren/ basischen Wirkung einer Lösung
PME	Pflanzenölmethylester
PSA	Druckwechseladsorption (Pressure-Swing-Adsorption)
TA	Technische Anleitung
TierNebG	Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz
TS	Trockensubstanz
UVP	Umwelt-Verträglichkeits-Prüfung



URL Uniform Resource Locator

WHG Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes

WI Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal

ZSW Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Stuttgart

w.econ Unternehmensberatung KG



1. Einleitung

Biomasse zählt zu den erneuerbaren Energien. Diese Energieträger stehen "unendlich" lange zur Verfügung. Zu den erneuerbaren Energien zählen u. a.:

- ‡ Energie aus der Verbrennung von Biomasse
- ‡ Sonnenenergie (Solarthermie, Photovoltaik)
- ‡ Wind- und Wasserkraft
- ‡ Geothermie (Erdwärme)
- ‡ Gezeitenenergie¹.

Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien wie Biomasse ist keine Erfindung der heutigen Zeit. Schon früher haben Menschen aus tierischen und pflanzlichen Abfällen Energie gewonnen. Im Laufe der Zeit wurden diese jedoch von fossilen Brennstoffen (erst Kohle, später Öl) verdrängt. Die Energiekrise der 70er Jahre brachte eine Renaissance der Bioenergie. Mit der Normalisierung der Ölpreise erlahmten diese Bemühungen jedoch wieder.

Hinsichtlich einer starken Abhängigkeit von schlecht einschätzbaren Energielieferanten, wie z. B. Russland, ist die Energieversorgungsdebatte heute aktueller denn je. Überdies könnte der wahrscheinliche Anstieg der Energiepreise erneuerbare Energien mittelfristig ohne Subventionen wettbewerbsfähig machen. Außerdem spricht der positive Umweltaspekt für die erneuerbaren Energien.

¹ Vgl. URL: <http://www.bio-energie.de/> (Stand: 19.06.06).



2. Biomasse

2.1 Definition

Nach § 2 der Biomasse-Verordnung gilt: „Biomasse im Sinne dieser Verordnung sind Energieträger aus Phyto- und Zoomasse². Hierzu gehören auch aus Phyto- und Zoomasse resultierende Folge- und Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle, deren Energiegehalt aus Phyto- und Zoomasse stammt.“

Anerkannte Biomasse nach § 2 der BiomasseV:³

- ‡ Pflanzen und Pflanzenbestandteile
- ‡ aus Pflanzen und Pflanzenbestandteilen hergestellte Energieträger
- ‡ Abfälle und Nebenprodukte pflanzlicher und tierischer Herkunft aus der Land-, Forst- und Fischwirtschaft
- ‡ Bioabfälle
- ‡ aus Biomasse durch Vergasung oder Pyrolyse erzeugtes Gas
- ‡ aus Biomasse erzeugte Alkohole
- ‡ Althölzer
- ‡ Pflanzenölmethylester
- ‡ Treibsel aus Gewässerpflege, Uferpflege und -reinhaltung
- ‡ durch anaerobe Vergasung erzeugte Biogase

Nicht anerkannte Biomasse nach § 3 der BiomasseV:

- ‡ fossile Brennstoffe
- ‡ Torf
- ‡ gemischte Siedlungsabfälle

² Phytomasse beschreibt die gesamte pflanzliche Substanz. Zusammen mit der Zoomasse bilden diese die sogenannte Biomasse, welche die Gesamtmasse aller Lebewesen darstellt. Die Phytomasse stellt in der Regel den größten Teil der Biomasse dar und kann daher in vielen Fällen mit dieser gleichgesetzt werden.

³ Anerkannte und nicht anerkannte Biomasse nach EEG (eigene Darstellung gemäß Biomasseverordnung, Stand: 22.06.06).



- ‡ Altholz mit einem:
 - ‡ PCB/PCT-Gehalt⁴ > 0,005 Gewichtsprozent
 - ‡ Quecksilbergehalt > 0,0001 Gewichtsprozent
- ‡ Papier, Pappe, Karton
- ‡ Klärschlamm
- ‡ Hafenschlick und sonstige Gewässerschlämme und -sedimente
- ‡ Textilien
- ‡ Tierkörper, Tierkörperteile und Erzeugnisse, die nach dem Tierkörperbeseitigungsgesetz in Tierkörperbeseitigungsanstalten zu beseitigen sind und Stoffe, die aus deren Beseitigung entstanden sind
- ‡ Deponiegas
- ‡ Klärgas

Neben der juristischen Definition, die Biomasse für den Anwendungsbereich des EEG⁵ festlegt, versteht man unter Biomasse im allgemeinen Sprachgebrauch „...die Gesamtmasse der in einem Lebensraum vorhandenen Lebewesen [...], also alle Stoffe organischer Herkunft“⁶. Biomasse kommt in festem, flüssigem oder gasförmigem Zustand vor.

2.2 Einordnung als Energielieferant

Erneuerbare Energien spielen heutzutage in Deutschland noch eine eher untergeordnete Rolle. Im Verlauf der letzten Jahre ist der Anteil der erneuerbaren Energien zur Strom-, Wärme- und Kraftstoffversorgung (bezogen auf den Primärenergieverbrauch) jedoch stetig gestiegen.

⁴ Als polychlorierte Biphenyle (PCB) bzw. polychlorierter Terphenyle (PCT) wird eine Gruppe giftiger Substanzen bezeichnet (bis in die 1980er Jahre z. B. in elektrischen Kondensatoren, in Hydraulikanlagen verwendet). Sie zählen zu den bekannten organischen Giftstoffen, welche weltweit verboten wurden.

⁵ Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien.

⁶ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2002: 12).

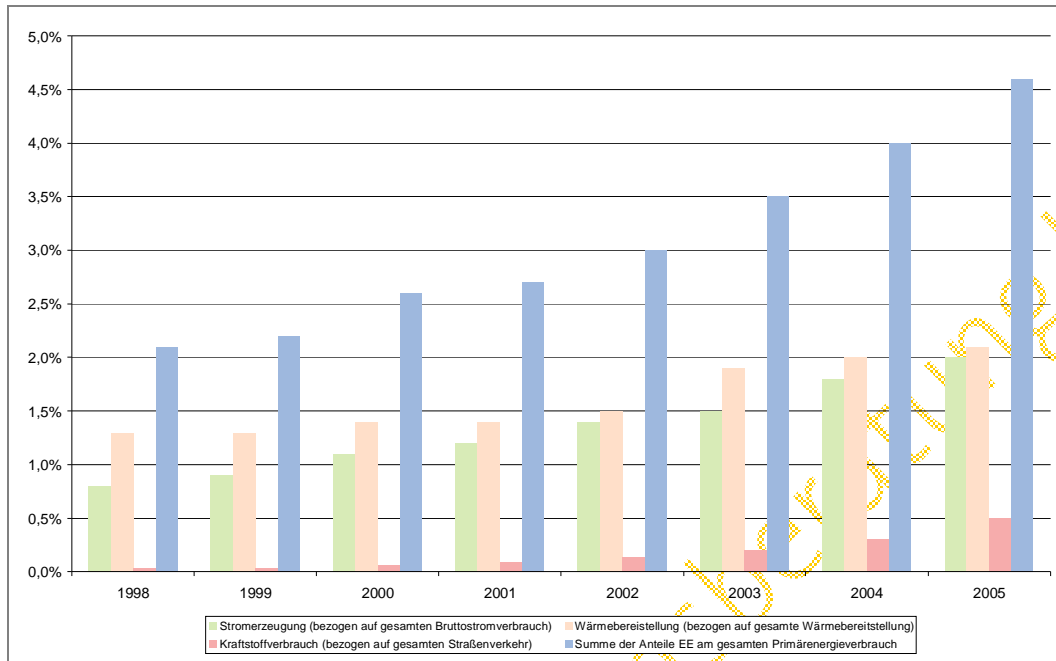


Abbildung 1: Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch in Dtl von 1998 - 2005⁷

Die folgenden Übersichten zeigen den Anteil der Energieträger⁸ am Primärenergieverbrauch in Deutschland und helfen die Bedeutung von Biomasse als Energielieferant einzuordnen.

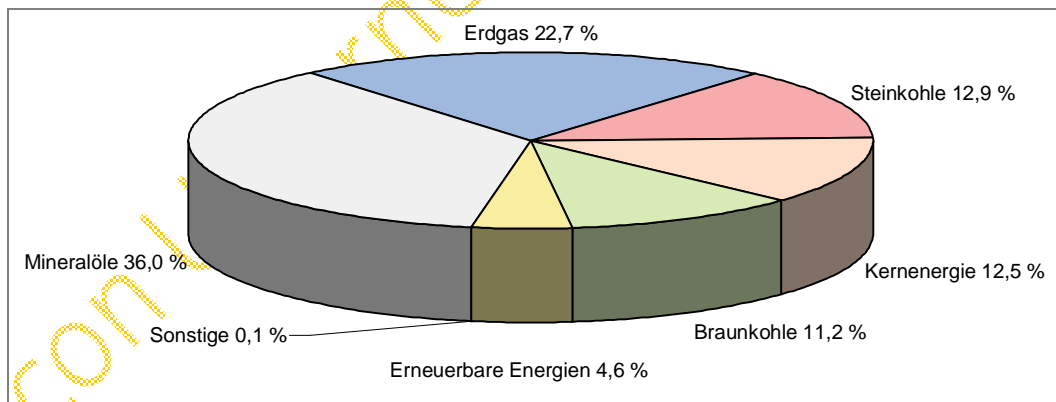


Abbildung 2: Primärenergieverbrauch⁹ in Deutschland¹⁰

⁷ Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Referat KI I1 (2006).

⁸ Aus Energieträgern kann direkt oder durch Umwandlung(en) Nutzenergie gewonnen werden.

⁹ Der Primärenergieverbrauch gibt an, wie viel Energie in einer Volkswirtschaft in einer Zeiteinheit (meistens ein Jahr) eingesetzt wurde, um alle Energiedienstleistungen zu nutzen.



Der Anteil von 4,6 % der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch in Deutschland wird dabei größtenteils aus Biomasse gewonnen.

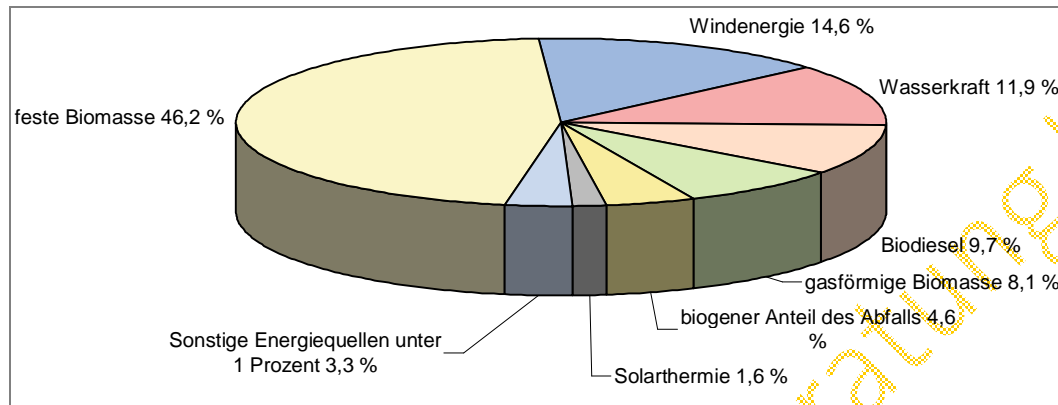


Abbildung 3: Zusammensetzung des Anteils der erneuerbaren Energie am Primärenergieverbrauch in Dtl¹¹

2.3 Entwicklung

Laut Prognosen des Bundesministeriums für Umwelt wird der Anteil erneuerbarer Energien in den nächsten Jahren stark ansteigen (siehe Abbildung 4). Wichtigstes Fördermittel für die erneuerbaren Energien ist das Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG).

In die Grafik sind neben dem Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Primärenergieverbrauch sowie am gesamten Bruttostromverbrauch auch die Ziele der Bundesregierung integriert. Eine Studie des DLR¹², ZSW¹³ und WI¹⁴ geht bis 2020 sogar von einem möglichen Ausbau auf 25,5 % im Strombereich aus. Dabei kommt Energie aus Biomasse eine besondere Bedeutung zu, weil sie den größten Anteil an den erneuerbaren Energien hat.

¹⁰ Alle Angaben vorläufig, teilweise geschätzt. Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006: 40).

¹¹ Alle Angaben vorläufig, teilweise geschätzt. Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006: 40).

¹² Deutsches Institut für Luft- und Raumfahrt, Institut für Technische Thermodynamik, Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung.

¹³ Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg.

¹⁴ Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal.

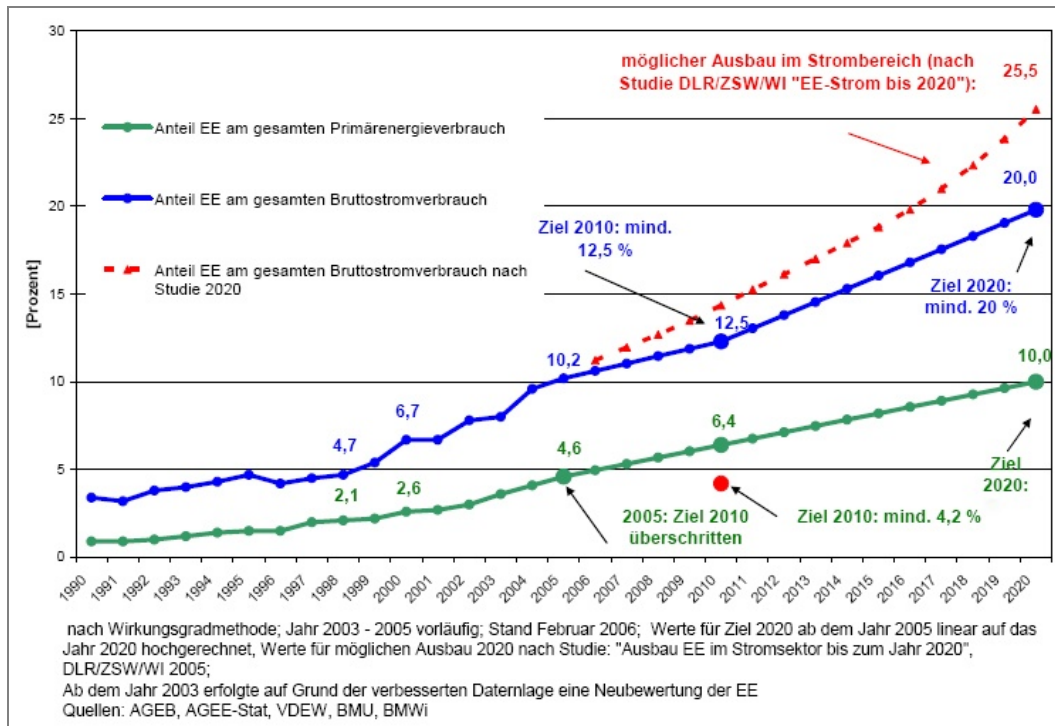


Abbildung 4: Entwicklung Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch und am Bruttostromverbrauch¹⁵

Weiterhin ist zu beobachten, dass auch Unternehmen zunehmend die erneuerbaren Energien entdecken. Große Konzerne, wie beispielsweise der Ölmulti Shell, investieren bereits in die Biomasse-Nutzung kombiniert mit Wind- und Sonnenkraft. Shell besitzt als Grundlage für seine globalen Biomassepläne bereits über 200.000 Hektar Wald.¹⁶

2.4 Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien

In Abhängigkeit von der elektrischen Leistung legt das Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) vom 21. Juli 2004 unterschiedliche Mindestvergütungen für den eingespeisten Strom aus erneuerbaren Energien fest. § 8 des EEG regelt die Mindestvergütung für Strom aus Biomasse. Der für das Inbetriebnahmejahr geltende Satz wird über den gesamten Vergütungszeitraum in unveränderter Höhe gewährt. Die Jahressätze unterliegen jedoch einer Degression von 1,5 %, weil der

¹⁵ Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Referat Öffentlichkeitsarbeit (2006).

¹⁶ Vgl. Franken (1999: 59).



Gesetzgeber von technischen Weiterentwicklungen (und damit einem höheren Effizienzgrad neuerer Anlagen) ausgeht und diese entsprechend berücksichtigt.

Nach § 8 EEG gelten für Biomasseneuanlagen folgende Grundvergütungssätze, jeweils nach Anlagengröße gestaffelt:

Jahr der Inbetriebnahme	„Grundvergütung“ (Anlagen i. S. v. Absatz 1 Satz 1), abhängig von der elektrischen Anlagenleistung			
	bis einschließlich 150 kW in ct/kWh	bis einschließlich 500 kW in ct/kWh	bis einschließlich 5 MW in ct/kWh	bis einschließlich 20 MW in ct/kWh
2004	11,50	9,90	8,90	8,40
2005	11,33	9,75	8,77	8,27
2006	11,16	9,60	8,64	8,15
2007	10,99	9,46	8,51	8,03
2008	10,83	9,32	8,38	7,91
2009	10,67	9,18	8,25	7,79
2010	10,51	9,04	8,13	7,67
2011	10,35	8,90	8,01	7,55
2012	10,19	8,77	7,89	7,44
2013	10,04	8,64	7,77	7,33

Tabelle 1: Übersicht Mindestvergütungen für Strom aus Biomasseneuanlagen¹⁷

Zusätzlich gibt es Boni für bestimmte Auflagen (siehe Tabelle 2), die kumulativ gezahlt werden. Die Boni unterliegen keiner Degression.

Bonusvergütung für	Anlagen bis		
	einschließlich 500 kW elektr. Leistung (ct/kWh)	einschließlich 5 MW elektr. Leistung (ct/kWh)	einschließlich 20 MW elektr. Leistung (ct/kWh)
NawaRo-/Güllenutzung	6,0	4,0	0,0
Altholznutzung	6,0	2,5	0,0
Kraft-Wärme-Kopplung	2,0	2,0	2,0
Innovative Anlagen	0,0	4,0	2,0

Tabelle 2: Übersicht zusätzliche Boni zur Grundvergütung nach EEG¹⁸

Die Berechnung erfolgt jeweils anteilig, wie das folgende Beispiel zeigt:¹⁹

¹⁷ Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004).

¹⁸ Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004).

¹⁹ Vgl. Beispielrechnung für Vergütung nach EEG (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004)).



Eine Biogasanlage mit einer elektrischen Leistung von 750 kW, in der Gülle und Futter- bzw. Energiesilage eingesetzt werden. Der KWK-Stromanteil des nach EEG eingespeisten Stromes beträgt nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz 25 %; Inbetriebnahme im Jahr 2004.

Die Mindestvergütung inklusive Bonus für NawaRo-/Güllenutzung beträgt für den Leistungsanteil

‡ ≤ 150 kW	=	11,50 ct/kWh + 6 ct/kWh =	17,50 ct/kWh
‡ < 150 kW ≤ 500 kW	=	9,90 ct/kWh + 6 ct/kWh =	15,90 ct/kWh
‡ < 500 kW ≤ 750 kW	=	8,90 ct/kWh + 4 ct/kWh =	12,90 ct/kWh

Diese werden anteilig addiert

20 % (150 kW bzw. 20 % der Gesamtleistung) * 17,50 ct/kWh =	3,50 ct/kWh
+ 47 % (350 kW bzw. 47 % der Gesamtleistung) * 15,90 ct/kWh =	7,47 ct/kWh
+ 33 % (250 kW bzw. 33 % der Gesamtleistung) * 12,90 ct/kWh =	4,26 ct/kWh
	<u>15,23 ct/kWh</u>

Die Einspeisevergütung wird von den Energieversorgern üblicherweise auf Basis der geleisteten Arbeit abgerechnet, dadurch ergeben sich in der Praxis aufgrund der unter 100 % liegenden Jahresbetriebsstunden geringfügig höhere durchschnittliche Einspeisevergütungen.²⁰ Dazu wird der Bonus für Kraft-Wärme-Kopplung (anteilig zum KWK-Stromanteil) addiert:

$$25 \% \text{ (zum Beispiel 25 \% KWK-Stromanteil)} * 2,00 \text{ ct/kWh} = \underline{0,50 \text{ ct/kWh}}$$

Der KWK-Stromanteil wird nach der Stromkennziffer der Anlage berechnet. Die durchschnittliche Mindestvergütung beträgt insgesamt:

$$15,23 \text{ ct/kWh} + 0,50 \text{ ct/kWh} = \underline{15,73 \text{ ct/kWh}}$$

2.5 Nutzung

Die Nutzung von Biomasse ist mannigfaltig. Bei der einfachen Verbrennung (z. B. im Kamin, Pelletofen) dient Biomasse beispielsweise zum Heizen. Mittels Dampferzeugung in industriellen Anlagen kann Biogas mit Turbinen und Generatoren aber

²⁰ Vgl. URL http://www.biogas.org/datenbank/file/notmember/fach/EEG_FAQ_Broschuere_05-11-03.pdf (Stand: 01.06.2006).



auch zur Stromerzeugung genutzt werden. Aus Biomasse kann also Kraft und Wärme gewonnen werden. Außerdem können mittels

- ‡ thermochemischer Umwandlung (Verkohlung, Vergasung, Pyrolyse²¹): Kohle, Produktgas, Pyrolyseöl
- ‡ physikalisch-chemischer Umwandlung (Pressung/Extraktion): Pflanzenöl, Pflanzenölmethylester (PME)
- ‡ biochemischer Umwandlung (Alkoholgärung, anaerobem Abbau, aerobem Abbau): Ethanol und Biogas

erzeugt werden.²² Diese Energieträger können wiederum in den verschiedensten Bereichen eingesetzt werden.

2.6 Marktstruktur

Die folgende Übersicht gibt einen Überblick über die Biomasseanlagenstruktur in Schleswig-Holstein. Biogasanlagen (39 von insgesamt 76 Anlagen²³) machen mit 51 % den größten Anteil der Biomasseanlagen aus. Daher wird der Schwerpunkt der Studie auf Biogasgewinnung aus Biomasse gesetzt.

²¹ Bezeichnung für die thermische Spaltung chemischer Verbindungen. Durch hohe Temperaturen wird ein Bindungsbruch innerhalb von großen Molekülen erzwungen.

²² Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2005: 19f).

²³ Eine Aufschlüsselung aller Anlagen mit weiteren Informationen ist als Anlage 1 beigefügt.

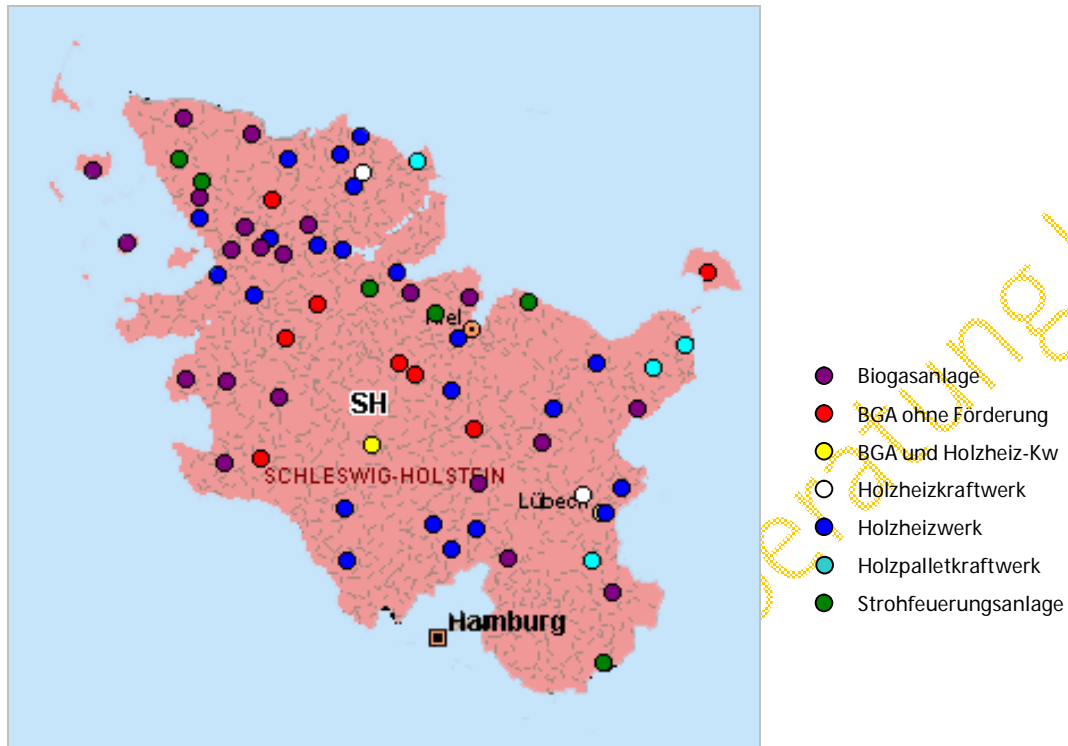


Abbildung 5: Übersicht Biomasseanlagen in Schleswig-Holstein²⁴

²⁴ Quelle: Innovationsstiftung Schleswig-Holstein (2005).



3. Biogas aus Biomasse

3.1 Definition Biogas

Biogas besteht zu 50 - 75 % aus Methan (CH₄) und zu 25 - 50 % aus Kohlendioxid (CO₂).²⁵ Außerdem sind geringe Mengen an Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Schwefelwasserstoff sowie Spurengasen²⁶ darin enthalten. Diese Mengen können abhängig von der Ausgangsbasis des Biogases variieren.²⁷

Komponente	Anteil am Biogas [%]
Methan (CH ₄)	50-75
Kohlendioxid (CO ₂)	25-45
Wasser (H ₂ O)	2-7
Stickstoff (N ₂)	0-2
Wasserstoff (H ₂)	0-1
Sauerstoff (O ₂)	0-2
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	0-2

Tabelle 3: Übersicht Zusammensetzung Biogas²⁸

Die Qualität von Biogas wird durch das Verhältnis von brennbarem Methan und „nutzlosem“ Kohlendioxid bestimmt. Der Methangehalt wird vor allem durch folgende Kriterien beeinflusst:

- ‡ Prozessführung in der Vergärungsanlage
- ‡ Nährstoffzusammensetzung des Substrates
- ‡ Substrattemperatur

Auf diese Kriterien wird in den nächsten Kapiteln näher eingegangen.

Mit einer Dichte von 1,2 kg/m³ ist Biogas leichter als Luft. Es besitzt ein träges Brennverhalten und eine relativ hohe Zündtemperatur. Biogas alleine brennt nicht. Es ist ein Gas-Luftgemisch mit 6 - 12 % Gasanteil vonnöten. Aufgrund dieser Eigenschaften ist der Umgang mit Biogas relativ problemlos. Mit einem Heizwert

²⁵ Vgl. URL: http://www.biogas.org/biogas/BGA_Landwirtschaft.pdf (Stand: 01.06.2006).

²⁶ Spurengase sind Gase, die in der Luft, speziell der Erdatmosphäre, nur einen winzigen Anteil ausmachen.

²⁷ Vgl. Wuppertal Institut (2005: 16).

²⁸ Quelle: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (2004: 7).



von 6 kWh/m³ kann 1 m³ Biogas etwa 0,6 m³ Erdgas ersetzen. Die Eigenschaften von Biogas im Vergleich zu anderen Gasen schlüsseln sich wie folgt auf:

Gas		Biogas	Erdgas	Propan	Methan	Wasserstoff
Heizwert	kWh/m ³	6	10	26	10	3
Dichte	kg/m ³	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Dichteverhältnis zur Luft		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Zündtemperatur	°C	700	650	470	650	585
Max. Zündgeschwindigkeit	m/s	0,25	0,39	0,42	0,47	0,43
Zündgrenze, Gas in Luft	%	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Theoretischer Luftbedarf	m ³ /m ³	5,7	9,5	23,9	9,5	2,4

Tabelle 4: Brenntechnische Kenndaten Biogas²⁹

3.2 Grundlagen des Biogasprozesses

Die Biogaserzeugung nutzt den natürlichen, biologischen Prozess des Verfaulens (sog. anaerobe Fermentation) und ist somit ein Stoffwechselprodukt von Bakterien. Im Gegensatz zur Kompostierung (sog. aerobe Fermentation) entsteht beim Verfaulen keine Wärme, dafür aber das brennbare Methangas.

Die Produktion von Biogas mittels anaerober Fermentation ist heutzutage eine ausgereifte Technologie. Feuchte Biomasse wird bei bestimmten vordefinierten Temperaturen und unter Ausschluss von Sauerstoff durch Bakterien zersetzt, wobei Biogas als Stoffwechselprodukt anfällt.³⁰

Die wesentlichen Teilschritte des Prozesses sind:

²⁹ Quelle: Köberle (1995). Zusammensetzung des mit anderen Brenngasen verglichenen Biogases: 60 % Methan, 38 % Kohlendioxid, 2 % Spurengase.

³⁰ Vgl. Wuppertal Institut (2005: 14).

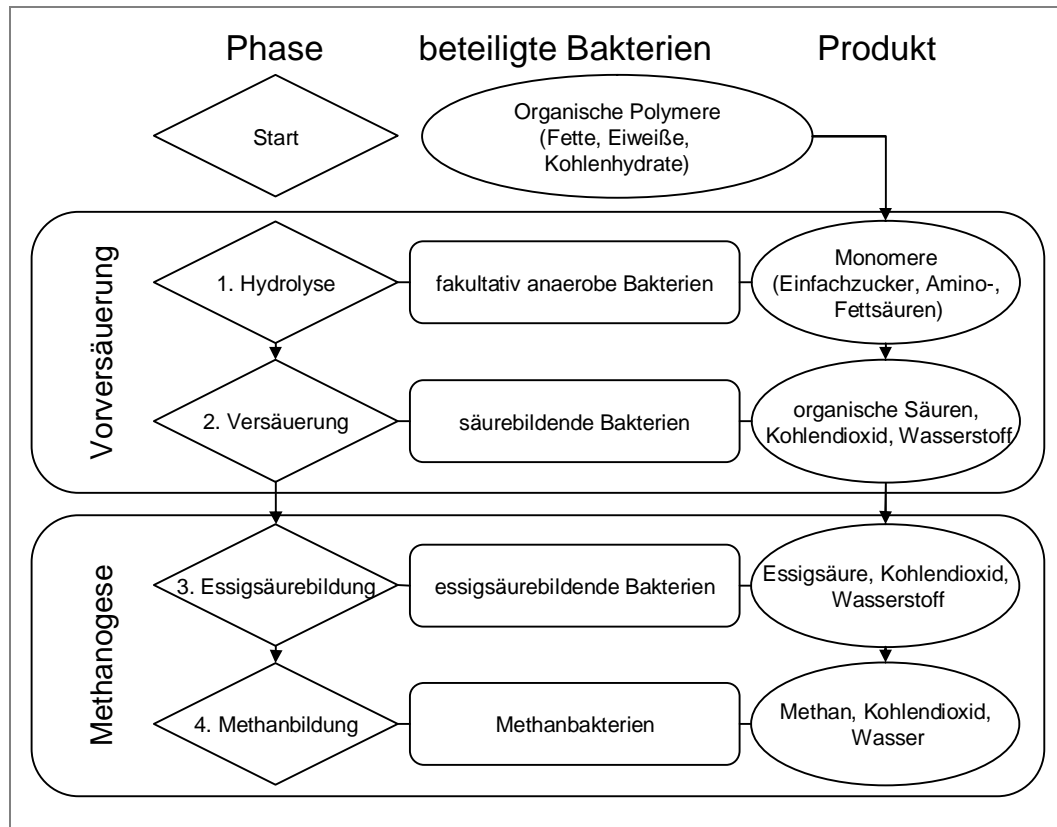


Abbildung 6: Phasen des Vergärungsprozesses³¹

1. In Phase 1, der Hydrolyse, wandeln fakultativ anaerobe Bakterien³² die hochmolekularen, organischen Substanzen (Eiweiß, Kohlenhydrate, Fett, Zellulose) mit Hilfe von Enzymen in niedermolekulare Verbindungen (Einfachzucker, Fettsäure, Aminosäuren und Wasser) um. Feste Substanzen gehen in Lösung. Dieser Prozess ist relativ langsam.
2. Die niedermolekularen Verbindungen werden in Phase 2 von säurebildenden Bakterien zu organischen Säuren, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff und Ammoniak umgewandelt.

³¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an Eder und Schulz (2006: 18).

³² Man unterscheidet fakultative Anaerobier, die sowohl ohne Sauerstoff als auch in Gegenwart von Sauerstoff leben können, und obligate Anaerobier, die durch Sauerstoff gehemmt oder sogar abgetötet werden.



3. Daraus produzieren Essigsäurebakterien Azetate, Kohlendioxid und Wasserstoff. Diese wasserstoffproduzierenden Bakterien sind sehr temperatur-empfindlich. Die Essigsäurebildung wird als Phase 3 bezeichnet.
4. Die Methanbildung erfolgt dann in Phase 4 (90 % des gesamten Methans wird in dieser Phase produziert, in den anderen Phasen entstehen ebenfalls geringe Mengen Methan). Methanbakterien bilden neben Methan, Kohlendioxid und Wasser im alkalischen Bereich.³³

Für diesen Gesamtprozess (Abbau der Organik und Umwandlung in Methan) benötigen die Bakterien besondere Lebensbedingungen (auch Milieubedingungen genannt). Beim Abbau sind die Stoffwechselprodukte der vorgelagerten Bakterien jeweils wieder Nahrung für nachgelagerte. Der Abbau durch die einzelnen Bakterien verläuft jedoch nicht gleich schnell. Säurebildende Bakterien sind beispielsweise die schnellsten. So kann es dazu kommen, dass sich durch Überfütterung dieser Bakterien der Säuregehalt so ändert, dass andere Bakterien darunter leiden.

Für Methanbakterien gilt es beispielsweise, folgende Lebensbedingungen zu beachten:³⁴

- ‡ Feuchtes Milieu: Methanbakterien können sich nur vermehren und arbeiten, wenn die Substrate in mindestens 50 % Wasser aufgeschwemmt sind. In fester Phase können sie nicht existieren.
- ‡ Luftabschluss: Methanbakterien sind strikt anaerob. Ist noch Sauerstoff im Substrat vorhanden, müssen aerobe Bakterien diesen erst verbrauchen.
- ‡ Lichtabschluss: Licht ist für die Bakterien zwar nicht tödlich, hemmt aber den Prozess.
- ‡ Gleichmäßige Temperatur: Als Arbeitsbereich der Methanbakterien gelten 0 - 70°C. Bei Temperaturen unter Null überleben sie, stellen jedoch die Arbeit ein. Bei Temperaturen über 70°C (bzw. einige Stämme 90°C) sterben sie ab.

In der Praxis gibt es drei Bakterienstammarten, die innerhalb bestimmter Temperaturbereiche ideale Lebensbedingungen vorfinden:³⁵

³³ Vgl. Schulz und Eder (2001: 17f) und Eder und Schulz (2006: 19f).

³⁴ Vgl. Schulz und Eder (2001: 17f) und Eder und Schulz (2006: 22f).

³⁵ Vgl. Eder und Schulz (2006: 23f).



- ‡ psychrophile Stämme: < 25°C
- ‡ mesophile Stämme: 25 - 45°C
- ‡ thermophile Stämme: > 45°C

Maßgeblich für die Geschwindigkeit der Prozesse ist die Temperatur. Höhere Temperaturen beschleunigen den Abbauprozess und führen zu hohen Gaserträgen. Allerdings nimmt mit steigenden Temperaturen der relative Methangehalt im Gas ab, weil das im Substrat gelöste Kohlendioxid ebenfalls gasförmig wird. Neben den höheren Kosten (z. B. Energieaufwand für Beheizung, Baukosten für bessere Isolierungen) besteht bei höheren Temperaturbereichen eine größere Gefahr für die Bakterienpopulation, die dann empfindlicher auf Störungen reagiert.³⁶ Generell gilt: je höher die Temperatur, desto empfindlicher die Bakterien. Die meisten Anlagen werden heute im mesophilen Temperaturbereich gefahren.³⁷

Der Gasertrag wird neben der Temperatur durch die Verweildauer³⁸ des Substrates im Fermenter entscheidend beeinflusst. Kurze Verweildauern führen relativ betrachtet zu hohen Gasleistungen in kurzer Zeit, da in den ersten Tagen der größte Gasanteil aus dem Substrat gewonnen wird. Jedoch kann nur durch längere Verweildauer sichergestellt werden, dass auch ein hoher Abbaugrad³⁹ erreicht wird. Je höher die Substrattemperatur, desto kürzer die Verweildauer.

Prozesstemperatur (in °C)	Verweildauer (in Tagen)
20-25	60-80
30-35	30-50
45-55	15-25

Tabelle 5: Beispielhafte Verweildauer für Substrat Gülle⁴⁰

Für die Verweildauer ist auch die Größe des zugeführten Materials bedeutend. Zerkleinerte Materialien bieten den Bakterien eine größere Angriffsfläche und werden somit schneller abgebaut.

³⁶ Vgl. Eder und Schulz (2006: 23f). Mesophile Verfahren sind weniger empfindlich als thermophile, tägliche Schwankungen von +/- 3°C sind problemlos. Thermophile Verfahren reagieren empfindlich bereits bei Temperaturschwankungen von +/- 1°C.

³⁷ Vgl. Eder und Schulz (2006: 23).

³⁸ Die Verweildauer beschreibt die Zeit, die das Substrat im Fermenter verbleibt.

³⁹ Der Abbaugrad gibt an, wie viel Prozent der organischen Trockensubstanz abgebaut wurde. In der Praxis finden sich Abbaugrade von 30-70 % (vgl. Eder und Schulz (2006: 37)).

⁴⁰ Quelle: Schulz und Eder (2001: 22).

3.3 Verfahrenstechniken

Grundsätzlich lassen sich die Verfahren nach Art der Beschickung (Batch-/Durchflussverfahren, kontinuierliche und diskontinuierliche Beschickung) und Ein- oder Mehrstufigkeit unterscheiden. Eine Übersicht über die unterschiedlichen Beschickungsarten gibt die folgende Abbildung:

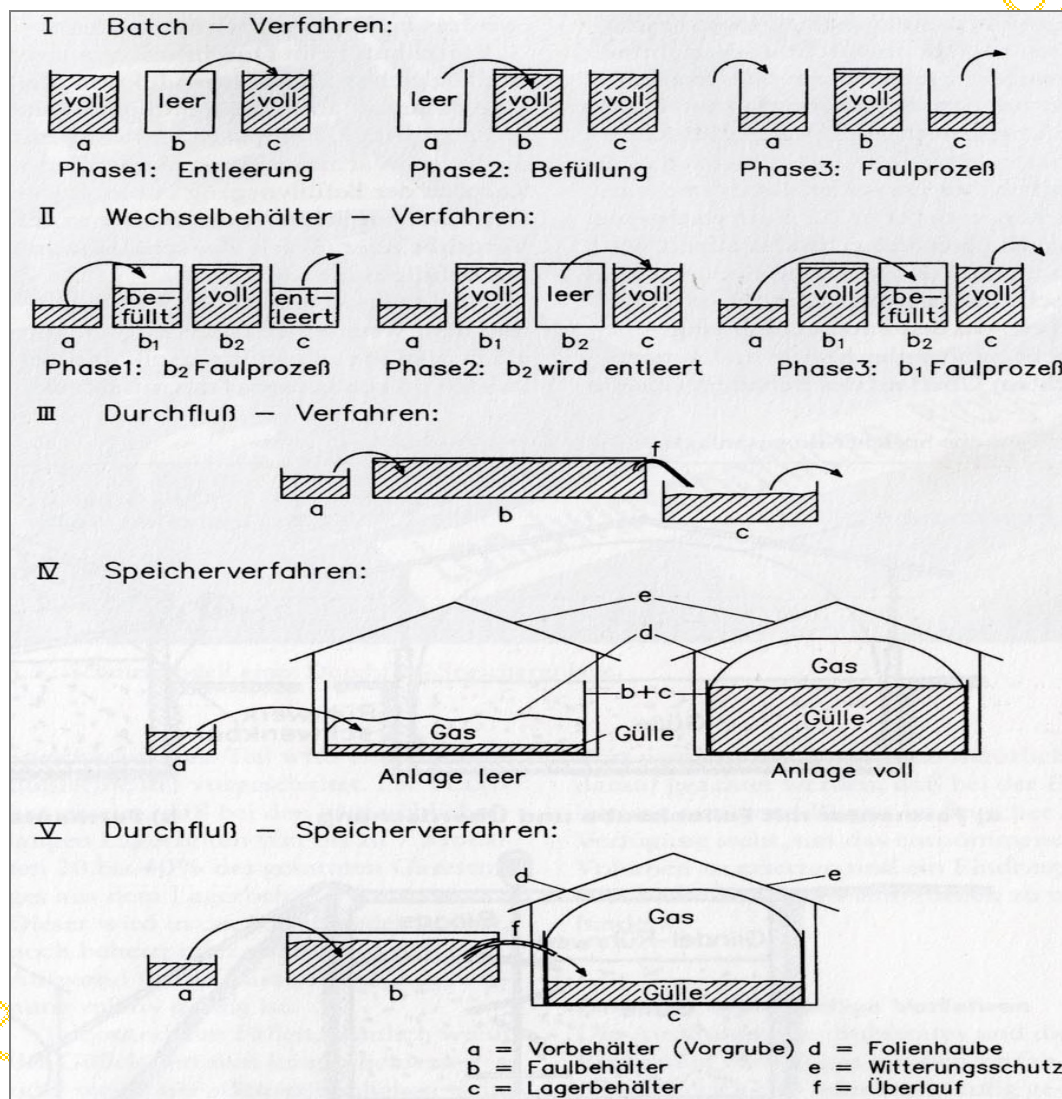


Abbildung 7: Übersicht Beschickungsarten Biogasanlagen⁴¹

⁴¹ Quelle: Schulz und Eder (2001: 31).



Die meisten Anlagen weltweit arbeiten nach dem Durchflussverfahren bzw. einer Kombination aus Durchfluss- und Speicherverfahren. Batch- und Wechselbehälter-Verfahren sind aufgrund des hohen baulichen Aufwandes für die benötigte Anzahl von Behältern selten.⁴²

Die Biogasprozesse können verfahrenstechnisch ein- oder mehrstufig⁴³ ablaufen. Für landwirtschaftliche Biogasanlagen wird von den mehrstufigen Verfahren aus Kostengründen fast immer das zweistufige umgesetzt, in dem Vorversäuerung und Methanogese räumlich getrennt werden.⁴⁴

Ferner können die Verfahren noch nach Art des verwendeten Substrates (z. B. NawaRo, Wirtschaftsdünger) unterschieden werden.

3.4 Substrate zur Biogaserzeugung

Als Substrate für Biogas finden die verschiedensten Ausgangsmassen Verwendung. Grundsätzlich eignet sich jede organische Masse zur Biogaserzeugung. Die folgende Übersicht stellt eine Auswahl zu möglichen Inputstoffen dar:⁴⁵

Substrate aus der Landwirtschaft

- ‡ Wirtschaftsdünger (z. B. Rindergülle, Schweinegülle, Hühnermist)
- ‡ Nachwachsende Rohstoffe/ Energiepflanzen⁴⁶ (z. B. Mais-, Grassilage)
- ‡ Ernterückstände (z. B. Rübenkraut, Kartoffelkraut)

Substrate aus der Industrie

- ‡ Produktionsabfälle (z. B. Biertreber, Getreideschlempe⁴⁷, Pülpe⁴⁸, Prozesswasser, Pressschnitzel, Panseninhalt)
- ‡ Holzabfälle (z. B. Industrierestholz)

⁴² Vgl. Schulz und Eder (2001: 32).

⁴³ Bei einstufigen Verfahren laufen alle Prozesse unter ständiger Durchmischung zeitlich und räumlich parallel ab. Bei mehrstufigen Verfahren werden die verschiedenen Phasen des Faulprozesses räumlich durch andere Behälter oder Abtrennungen erreicht.

⁴⁴ Vgl. Schulz und Eder (2001: 33f).

⁴⁵ Vgl. Wuppertal Institut (2005: 2) und Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2005: 86f).

⁴⁶ Eine Energiepflanze ist zur Energiegewinnung nutzbar. Eigenschaften von Energiepflanzen sind i. d. R. ein rasches Wachstum, ein hoher Ertrag und geringe Standortanforderungen.

⁴⁷ Als Schlempe werden Rückstände einer Destillation bezeichnet. Schlempe enthält vor allem Eiweiß, Fette und Mineralstoffe. Die Kohlenhydrate wurden in Alkohol umgewandelt.

⁴⁸ Die Pülpe ist der genießbare Teil der ganzen, ggf. geschälten oder entkernten Frucht, der in Stücke geteilt oder zerdrückt, nicht jedoch zu Mark verarbeitet sein kann.

Organische Reststoffe aus Haushalten und Kommunen

- ‡ organische Siedlungsabfälle (z. B. Biotonne)
- ‡ Speisereste/überlagerte Lebensmittel, Material aus Fettabscheidern
- ‡ Grasschnitt/Landschaftspflegematerial (z. B. Reste aus Straßen-, Park- und Uferpflege)

Viele der heutigen Anlagen werden mit NawaRo betrieben.⁴⁹

Biogas (und damit Methan) kann nur aus der Trockenmasse und von dieser wiederum nur aus der organischen Trockenmasse entstehen. Der Faktor organische Trockenmasse entscheidet über die Güte des Substrates. Grassilage beispielsweise hat einen hohen Wasseranteil und folglich ist der Biogasertrag pro Tonne wesentlich geringer als bei einer Tonne Weizen. Abbildung 8 gibt einen Überblick über Methanerträge verschiedener Stoffe.

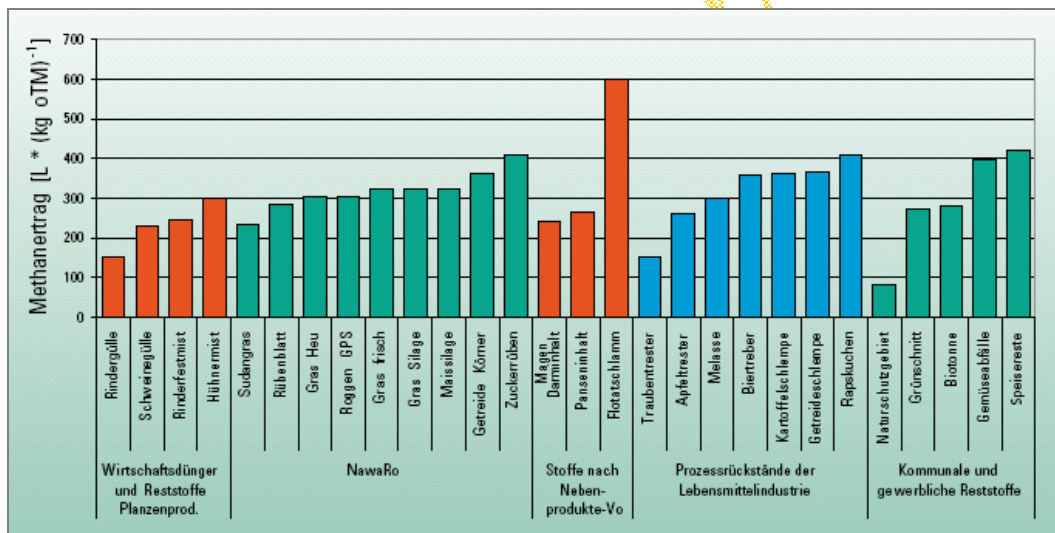


Abbildung 8: Übersicht Richtwerte Methanertrag aus verschiedenen Stoffen⁵⁰

Neben diesem Hauptfaktor muss auch die weitere Zusammensetzung des Inputstoffes genau beachtet werden. So kann das Substrat (z. B. durch Einmischung von Schwermetallen, Schadstoffen, Keimen) eine Gefahr für die Bakterienpopulation im Fermenter darstellen und den Biogasprozess hemmen. Mittels Vorbehandlung (z. B.

⁴⁹ Vgl. Eder und Schulz (2006: 14).

⁵⁰ Quelle: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (2004: 8).



Sortierung, Hygenisierung⁵¹⁾ ist es jedoch möglich, eventuelle Risiken zu minimieren. Um das Gefahrenpotenzial einschätzen zu können, gibt Tabelle 6 eine beispielhafte Risikoeinschätzung:

Kosubstrat	Risiko			
	risikolos	hygienisch riskant	störstoffhaltig	schadstoffseitig riskant
kommunale Reststoffe	Grüngut, Rasenschnitt		Bioabfall, Straßenbegleitgrün	
industrielle Reststoffe	Gemüseabfälle, Schlempe, Trester	überlagerte Lebensmittel, Lebensmittel mit Transportschäden		Rückstände aus der Pflanzenölproduktion
landwirtschaftliche Reststoffe	Flüssigmist, Festmist			
	Rübenblatt, Stroh			
NawaRo	Mais-, Grassilage			
Schlachtabfälle		Pansen-, Darminhalt, Fettabscheiderfett, Blutmehl		(Fettabscheiderfett)
Sonstige		Großküchenabfälle, häusliche Abfälle		

Tabelle 6: Übersicht Gefahrenpotenzial nach Substraten⁵²⁾

Mittlerweile ist es üblich, den Wirkungsgrad durch Kombination von Substrat mit sogenannten Kosubstraten⁵³⁾ zu erhöhen. Typische Gülleanlagen verwenden beispielsweise ein Substrat, das zu 90 % aus Gülle und zu 10 % aus NawaRo (Kosubstrat) besteht. Typische NawaRo-Anlagen verwenden als Substrat 90 % NawaRo und 10 % Gülle zur Prozessstabilisierung.⁵⁴⁾

Für die Anlagenbetreiber ist Verfügbarkeit und Preisniveau der Substrate von hoher Relevanz. Aufgrund des beständig hohen Inputbedarfes einer Biogasanlage sollte möglichst versucht werden, langfristige Kontrakte mit den Lieferanten zu vereinbaren, um eine kalkulierbare Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Hier eine Übersicht ausgewählter Substrate und deren Verfügbarkeit:

⁵¹⁾ Oberbegriff für Verfahren der Desinfektion.

⁵²⁾ Eigene Darstellung in Anlehnung an Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (2004: 9).

⁵³⁾ Kosubstrate sind zur Vergärung bestimmte organische Stoffe, die keine Wirtschaftsdünger sind.

⁵⁴⁾ Vgl. Wuppertal Institut (2005: 15).



Substrat	Preis	Verfügbarkeit
Gülle ⁵⁵	ca. 2,35 Eur/t ⁵⁶	gut
Mais	ca. 20,00 – 30,00 Eur/t ⁵⁷	mittel

Tabelle 7: Übersicht Preise und Verfügbarkeit ausgewählter Substrate⁵⁸

Falls in unmittelbarer Umgebung nicht genügend Inputstoffe zur Verfügung stehen sollten, wird empfohlen, einen wirtschaftlich vertretbaren Transport von der Energiedichte des Substrates abhängig zu machen. Für Gülle wird aufgrund der geringen Energiedichte beispielsweise ein kurzer Transportweg empfohlen. NawaRo könnten dank höherer Energiedichte entsprechend länger transportiert werden.

Derzeit laufen Versuche, eine Alternative zu Mais (als vorwiegend zur Energieerzeugung eingesetzte Pflanze) zu finden. Sudangras, Topinambur und durchwachsende Silphie lieferten in Tests bereits vergleichbare Erträge.⁵⁹

3.5 Reststoffe der Biogasproduktion und deren Verwertung

Biogasanlagen setzen Emissionen in Form von Gas⁶⁰, Abwasser und festen oder schlammförmigen Rückständen (Gärreste) frei. Während der Gärung treten fast keine Nährwertverluste auf. Tabelle 8 zeigt dies beispielhaft für Gülle:

⁵⁵ Man unterscheidet dünne Gülle (3 % TS) und dicke Gülle (12 % TS). Der Wert richtet sich nach Nährstoffgehalt (mineralischer Stickstoff, Kalium bzw. Phosphat), der den Düngewert beschreibt. So kann der exakte Wert nur nach Ermittlung der Inhaltsstoffe festgelegt werden.

⁵⁶ Quelle: eigene Recherche.

⁵⁷ Die Preise im Einzelnen: ca. 22,00 Eur/t für Frischmasse frei Siloplatte (also Ernte inbegriffen), Körnermais für Biogasanlagen bei 35 % Feuchte (keine zusätzl. Trocknungskosten) liegt bei 7,75 Eur/t. Quelle: eigene Recherche.

⁵⁸ Quelle: eigene Recherche.

⁵⁹ Vgl. Paul (2006).

⁶⁰ Die gasförmigen Emissionen setzen sich aus Ammoniak (NH₃), Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffoxiden (NO₂) und Schwefeldioxid (SO₂) zusammen. Aufgrund dieser Zusammensetzung sind sie mit einer unangenehmen Geruchsbildung verbunden. Vgl. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (2004: 11).



	Schweinegülle		Rindergülle	
	Frischgülle	Faulgülle	Frischgülle	Faulgülle
TS-Gehalt	5,38 %	3,45 %	10,03 %	6,76 %
oTS-Gehalt	3,75 %	2,01 %	7,35 %	4,66 %
pH-Wert	7,37	8,02	7,42	7,75
Nges-Gehalt	0,48 %	0,45 %	0,41 %	0,38 %
NH4-N-Gehalt	0,33 %	0,36 %	0,20 %	0,22 %
Abbaugrad der oTS	46,4 %		36,56 %	
Ammoniumanteil	68,8 %	80,0 %	48,8 %	57,9 %
Erhöhung Ammonium	16,3 %		20,3 %	

Tabelle 8: Veränderung Gülle-Zusammensetzung nach Biogasverfahren⁶¹

Bei der Biogasgewinnung aus tierischen Exkrementen, NawaRo oder den im ersten Anhang der Bioabfallverordnung (BioAbfV) genannten Substraten können die Rückstände als Dünger ausgebracht werden.⁶² Weitere Vorteile speziell bezogen auf Gülle als Substrat bei der Reststoffverwertung sind:⁶³

- ‡ Minderung der geruchsintensiven Substanzen der Gülle
- ‡ Verbesserte Fließfähigkeit der Gülle
- ‡ Geringere Ätzwirkung auf Pflanzen durch den Abbau organischer Säuren
- ‡ Verringerung des Kohlen-/Stickstoff (C/N)-Verhältnisses
- ‡ Bessere, kurzfristige Düngewirkung

Für die Ausbringung der Reststoffe anderer Substrate müssen die jeweils geltenden gesetzlichen Regelungen beachtet werden. Dabei sind im Wesentlichen die folgenden schadstoffbezogenen Rechtsvorgaben zu beachten:⁶⁴

- ‡ Nährstoffbezogene Regelungen
 - ‡ DüV gilt für alle Substrate.
 - ‡ DüMV gilt für alle Substrate, nur bei Inverkehrbringen.
- ‡ Schadstoffbezogene Regelungen

⁶¹ Quelle: Schulz und Eder (2001: 88).

⁶² Die Kosten für Entsorgung der Gülle bei Selbstausrückung schwanken je nach Ausbringungsart (Schleppschläuche/Schlitzschare, Düse) von 1,50 Eur/m³- 2,50 Eur/m³. Lohnunternehmer verlangen 3,40 Eur/m³- 5,00 Eur/m³ Gülle für die Ausbringung inkl. Maschinenkosten und Fahrer . Vgl. URL: <http://www.landtreff.de/> (Stand: 19.06.2006).

⁶³ Vgl. Schulz und Eder (2001: 88f).

⁶⁴ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2006: 146).



- ‡ BioAbfIV gilt für alle Bioabfälle, die nicht der EU-HygieneV unterliegen und Gärreste mit Bioabfall als Kofermente.
- ‡ Regelungen in Bezug auf die Produkthygiene
 - ‡ EU-HygieneV gilt für alle Substrate tierischen Ursprungs.
 - ‡ DüMV gilt für alle Substrate, nur bei Inverkehrbringen.
 - ‡ BioAbfIV gilt für alle Bioabfälle, die nicht der EU-HygieneV unterliegen und Gärreste mit Bioabfall als Kofermente.

3.6 Nutzungsmöglichkeiten von Biogas

Biogas ist ein hochwertiger Energieträger. Rohbiogas kann allerdings in nur wenigen Anwendungen direkt genutzt werden. Für die Aufbereitung sind technische Verfahren notwendig (z. B. Biogasentschwefelung, Gastrocknung, CO₂-Abtrennung (mittels Druckwasserwäsche, Druckwechseladsorption/PSA), Brennwertanpassung mit LPG (Flüssigerdgas) und Luft).

Aufbereitungsverfahren einer Anlage sind in der Regel nur eingeschränkt auf andere Anlagen übertragbar, weil sie an die konkrete Biogaszusammensetzung bzw. örtliche Gegebenheiten angepasst werden müssen.⁶⁵ Eine Übersicht über Verfahren zur Biogasaufbereitung bietet Abbildung.

⁶⁵ Vgl. Wuppertal Institut (2005: 16).

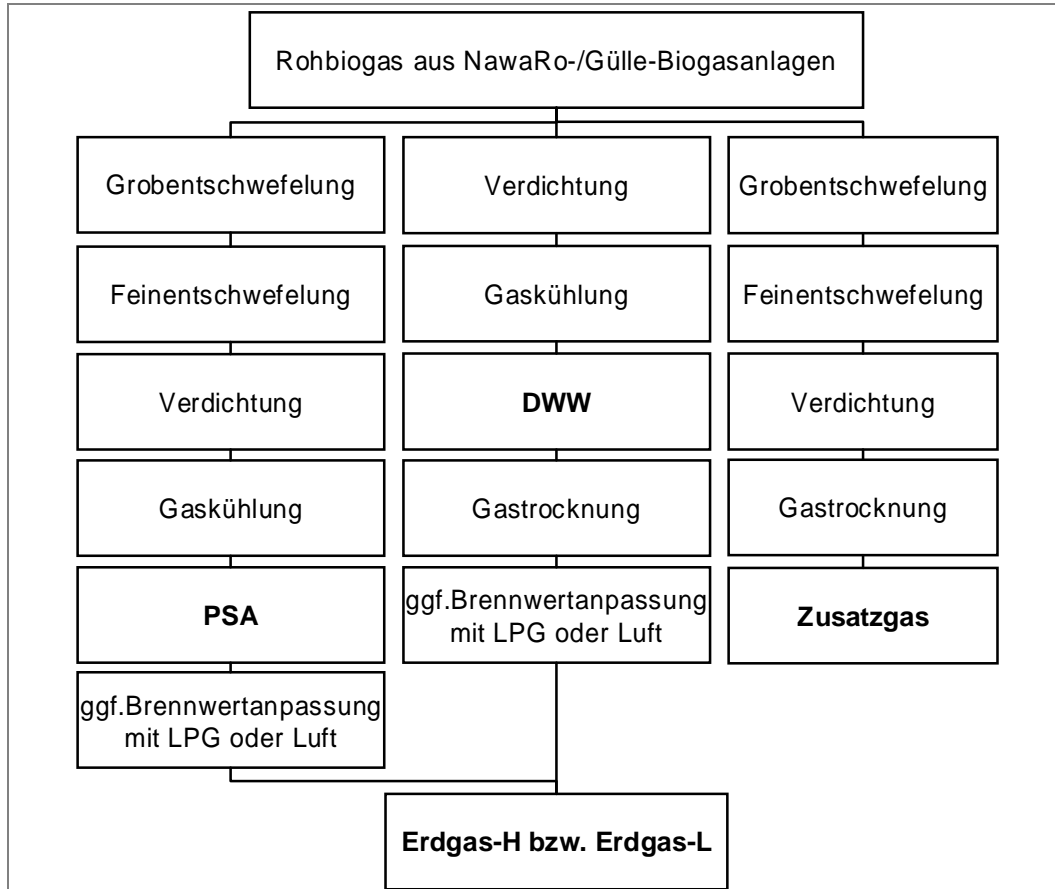


Abbildung 9: Übersicht Verfahren zur Biogasaufbereitung⁶⁶

Biogas ist für eine thermische Nutzung z. B. zum Kochen oder Heizen wegen der vollständigen und schadstoffarmen Verbrennung sehr geeignet. Für die Einspeisung in das Erdgasnetz muss neben der schon erwähnten Gasaufbereitung am Ort der Einspeisung ein Betriebsdruck höher als der Leitungsdruck vorliegen. An den Einspeisepunkten sind weiterhin Gasdruckregel- und Messanlagen notwendig, die Volumenstrom, Beschaffenheit und Gasdruck messen und regeln.

Besonders interessant ist die Nutzung von Biogas durch die so genannte Kraft-Wärme-Koppelung (KWK) in einem Blockheizkraftwerk (BHKW). Unter KWK versteht man die gleichzeitige Erzeugung von Kraft (i. d. R. Strom) und Wärme. Die Hitze der Motoren (z. B. über Abgase, Kühlwasser) wird als energetische Wärmequelle genutzt. So können Gesamtwirkungsgrade zwischen 80 - 90 % erreicht wer-

⁶⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung an Wuppertal Institut (2005: 16).



den. Von diesem Gesamtwirkungsgrad entfallen ca. 30 - 40 % auf den elektrischen Wirkungsgrad und 60 - 70 % auf den Wärmewirkungsgrad. Die Erreichung solch hoher Wirkungsgerade ist aber nur unter optimalen Voraussetzungen möglich (z. B. einem kontinuierlichen, gleichmäßigen Betrieb des Motors). In der Praxis werden diese Werte häufig nicht erreicht.

Zur Stromerzeugung werden üblicherweise Zündstrahl- oder Gas-Otto-Motoren eingesetzt. Es können aber auch Mikrogasturbinen, Stirlingmotoren oder Brennstoffzellen eingesetzt werden. Diese befinden sich allerdings überwiegend noch in der Prototypenphase.⁶⁷ Daher werde in Tabelle 9 die Eigenschaften der gebräuchlichen Motorentypen dargestellt.

Merkmal	Gas-Otto-Motor	Zündstrahlmotor
Leistungsbereich	Leistung _{el} bis 1 MW, selten unter 100 kW	bis zu 10 % Zündölanteil zur Verbrennung, Leistung _{el} bis 250 kW
Wirkungsbereich	elektrisch 34-40 %	elektrisch 30-40 %
Standzeit	60.000 Bh	35.000 Bh
nötiger Mindestmethangehalt	45 %	entfällt
Wartungsaufwand	gering	hoch
Preis	höher als Zündstrahlmotor	geringer als Gas-Otto-Motor
Vorteile	speziell für die Gasverwertung konstruiert; Emissionsgrenzwerte werden eingehalten	im unteren Leistungsbereich erhöhter Wirkungsgrad _{el} im Vergleich zu Gas-Otto-Motoren
Nachteile	im unteren Leistungsbereich geringerer elektrischer Wirkungsgrad	Einsatz eines zusätzlichen Brennstoffes; Schadstoffausstoß überschreitet häufig die TA-Luft-Grenzwerte; ca. 10 % Zündölverbrauch vom Energiegehalt des Biogases
Besonderheiten	Leistungsregelung in Abhängigkeit	
Ersatzkraftstoffe	Flüssiggas	Heizöl, Dieselöl, (Pflanzenöl)

Tabelle 9: Eigenschaften Gas-Otto-Motoren u. Zündstrahlmotoren⁶⁸

Der erzeugte Strom wird in der Regel ins Stromnetz eingespeist. Die Wärme aus Biogasanlagen kann wie folgt genutzt werden:⁶⁹

4 Versorgung eines Wohngebietes mit Fernwärme

⁶⁷ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2006: 101).

⁶⁸ Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2006: 102f).

⁶⁹ Vgl. WNO (2006: 34).



- ‡ Klärschlamm-trocknung
- ‡ Beheizen von größeren Hallen (z. B. Schwimmbäder, Turnhallen, Schulen, Gartenbaubetriebe, Ställe, etc.)
- ‡ Trocknung von Nahrungsmitteln, Tierfutter oder Holz

Anlagen ohne Wärmenutzungskonzept (die Wärme wird ungenutzt in die Umgebung abgeleitet) arbeiten tendenziell nicht kostendeckend.

Darüber hinaus ist auch eine Rückgewinnung von CO₂ zur Weiterverwendung für verschiedene Anwendungen möglich.

3.7 Rechtliche Aspekte

Es gibt über 21 Gesetze, die für die Genehmigung einer Biogasanlage relevant sein können.⁷⁰ Darunter sind u. a.:⁷¹

- ‡ Baugesetzbuch (BauGB)
- ‡ Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (BauNVO)
- ‡ Landesbauordnung (LBO)
- ‡ Verordnungen über bautechnische Prüfungen (BauPrüf der Länder)
- ‡ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)
- ‡ Gesetz zur Umsetzung der UVP-Änderungsrichtlinie, der IVU-Richtlinie und weiterer EG-Richtlinien zum Umweltschutz
- ‡ Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV)
- ‡ Immissions-Schutz-Bereich (z. B. Bundesimmissionsschutzgesetz, TA Luft, WHG, TA Lärm)
- ‡ Feuerungsverordnung der Länder
- ‡ Verordnung EG Nr. 1774/2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte (EG-HygieneV)

⁷⁰ Vgl. Eder und Schulz (2006: 148).

⁷¹ Vgl. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2006: 140).



- † Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG)
- † Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW/AbfG)
- † Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Flächen (Bioabfallverordnung - BioAbfV)
- † EG-Wasserrahmenrichtlinie
- † Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz - WHG)
- † Landeswassergesetze
- † Landesverordnung zur Umsetzung der Anhänge II und V der WRR (2004)
- † Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG)
- † Ländergesetz zum BNatSchG

Diese Gesetze und Verordnungen sind u. a. abhängig von Standort, verwendetem Substrat, verwendeter Substratmenge und elektrischer Leistung einzuhalten. Kleineren Anlagen, die bestimmte Auflagen erfüllen (z. B. Gesamtfeuerungswärmeleistung des BHKW < 1 MW und Güllelagerkapazität < 2.500 m³) erfahren ein einfacheres Genehmigungsverfahren nach Baurecht. Größere Anlagen müssen die Genehmigung nach Bundes-Immissionsschutzgesetz erlangen.⁷²

Für die Ausbringung des Gärrestes sind, je nach Substrat, die bereits in Kapitel 3.5 erwähnte Düngerverordnung (DüV), Düngemittelverordnung (DüMV), Bioabfallverordnung (BioAbfV) und EU-Hygieneverordnung (EU-HygieneV) zu beachten.

Aus steuerlicher Sicht ist interessant, ob es sich bei der Anlage um einen landwirtschaftlichen Betrieb oder um einen Gewerbebetrieb handelt. Es sind im Wesentlichen drei Fälle zu unterscheiden:⁷³

- † Wenn die Biomasse überwiegend im eigenen Betrieb erzeugt und das daraus erzeugte Gas bzw. die Energie (Wärme, Strom) überwiegend im eigenen Betrieb genutzt werden, ist die Biogasanlage Teil des landwirtschaftlichen

⁷² Vgl. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2006: 142).

⁷³ Vgl. w.econ LBB Betriebs- und Steuerberatungsgesellschaft KG (2006).



Hauptbetriebes. Damit unterliegt sie der landwirtschaftlichen und nicht der gewerblichen Besteuerung.

- ‡ Verwendet ein Landwirt die gesamte Ernte zur Energieerzeugung in der Biogasanlage, steht diese Tätigkeit im Mittelpunkt. Biogasanlage und landwirtschaftlicher Betrieb bilden in diesem speziellen Fall einen einheitlichen Gewerbebetrieb.
- ‡ Die Biogaserzeugung in der eigenen Biogasanlage stellt dagegen einen landwirtschaftlichen Nebenbetrieb dar, wenn die Biomasse überwiegend im eigenen Hauptbetrieb erzeugt wird und das Biogas überwiegend für den Verkauf bestimmt ist. Die anschließende Stromerzeugung stellt dagegen eine gewerbliche Betätigung dar.

3.8 Förderprogramme

Auf EU-, Bundes- und Länderebene gibt es zahlreiche Programme, um eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien zu fördern. Daneben gibt es auch Begünstigungen von Regionen, Städten, Gemeinden und sogar Energieversorgern. Wegen Mittelkürzungen und Haushaltssperren gilt es, die jeweils aktuellen Bedingungen zu erfragen.⁷⁴

Für den Bau einer Biomasseanlage gibt es z. B.:⁷⁵

- ‡ Zuschüsse gestaffelt nach Größe und Wirkungsgrad der Anlage durch den Bund.
- ‡ zinsgünstige Darlehen und Finanzierungsmöglichkeiten zu 100 % durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (z. B. KfW-Umwelt-Programm⁷⁶).
- ‡ nicht rückzahlbare Zuschüsse von bis zu 40 % der förderfähigen Kosten gewährt durch regionale Förderprogramme wie z. B. in Schleswig-Holstein durch die „Initiative Biomasse und Energie“.⁷⁷

⁷⁴ Weiterführende Informationen unter URL: <http://www.deutsche-energie-agentur.de>.

⁷⁵ Vgl. Provinzial (2006: 14).

⁷⁶ Weiterführende Informationen unter URL: <http://www.kfw-foerderbank.de/> (Stand: 08.08.2006).

⁷⁷ Vgl. URL: http://www.lwk-sh.de/fachinfo/betriebsfuehrung/foerderung/Erneuerbare_Energie.pdf (Stand: 06.08.2006).



3.9 Marktstruktur

Der Biogasanlagenbestand hat im Zusammenhang mit Inkrafttreten der Gesetzesänderung für erneuerbare Energien und damit einer verstärkten finanziellen Förderung stark zugenommen. Außerdem geht der Trend zu Anlagen mit größerer Leistung, was sich im überproportionalen Anstieg der Anschlussleistung widerspiegelt.⁷⁸ Dieser Trend begrenzt gleichzeitig das Wachstum. Wo eine große Biogasanlage steht, kann häufig keine zweite Anlage mehr gebaut werden, weil Flächen, die zum Anbau von NawaRo zur Versorgung beider Anlagen benötigt werden, nicht verfügbar sind.

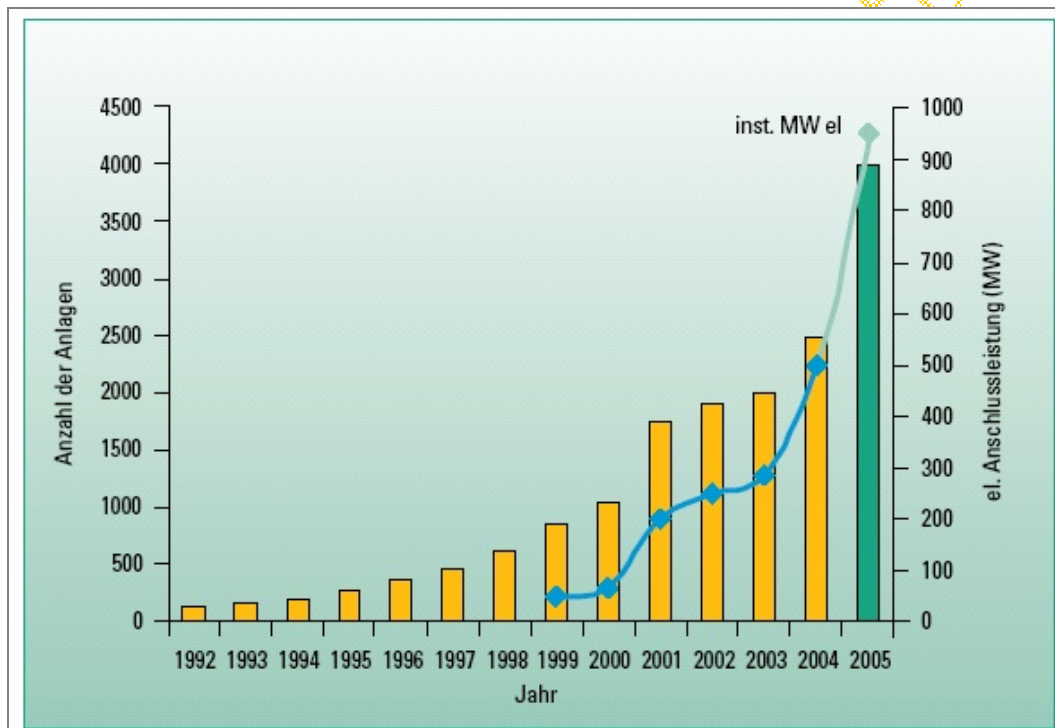


Abbildung 10: Biogasanlagen in Deutschland 1992 - 2005 (gelb); elektrische Anschlussleistung (blau); Prognose für 2005 (grün)⁷⁹

⁷⁸ Vgl. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (2004: 5).

⁷⁹ Quelle: Fachverband Biogas e. V., 2005.



Der Biogasanlagenbestand nach Ländern gliedert sich wie folgt:

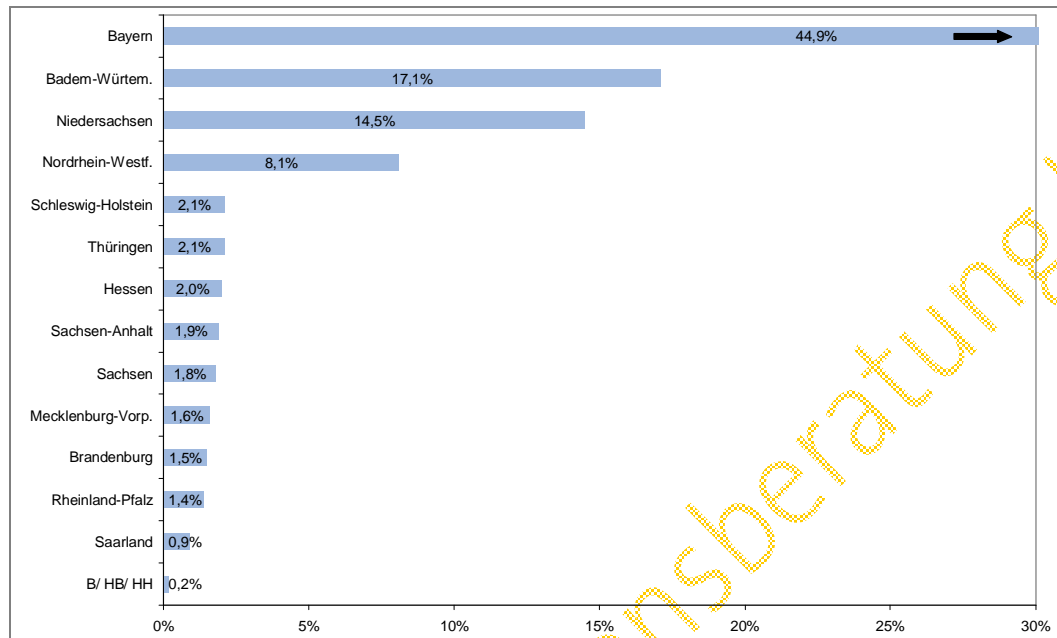


Abbildung 11: Biogasanlagenbestand in Deutschland nach Bundesländern (in Prozent) (Stand: Februar 2004)⁸⁰

3.10 Probleme/Risiken der Biogastechnologie

Neben den üblichen Risiken von verfahrenstechnischen, biologischen Anlagen dieser Größenordnung sind bei Biogasanlagen besonders die folgenden Aspekte zu beachten:

Die Einnahmenseite der Biomasseanlagenbetreiber ist durch das EEG auf lange Sicht in gewissem Rahmen sichergestellt. Auf der Ausgabenseite ist hingegen mit zunehmenden Kosten zu rechnen. Da Biogasanlagenbetreiber z. B. auf NawaRo als Input angewiesen sind, kommt es zu Flächenkonkurrenzen mit den herkömmlichen Anbausorten (z. B. Tierfutter). Steigt die Nachfrage nach Flächen, steigen die Pachten bzw. Rohstoffkosten.

Wenn bei Wartungs- und Reparatursinsätzen die Anlage geleert werden muss, dauert es längere Zeit, bis die Anlage wieder volle Leistung bringt. Dieser Aspekt ist insbesondere relevant, wenn eine Biomasseanlage Strom und Wärme für Abnehmer produziert, die Versorgungssicherheit benötigen.

⁸⁰ Quelle: URL: <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/6964/35047/> (Stand: 25.06.2006).



Aufgrund der Komplexität einer Biogasanlage ist die Bedienung durch geschultes Fachpersonal unbedingt notwendig. Selbst kleinste Fehler können zum Ausfall der gesamten Anlage führen und so enormen wirtschaftlichen Schaden anrichten. Daneben ist auch der Betreuungsaufwand der Anlage nicht zu unterschätzen.

3.11 Trends und Entwicklungen im Bereich Biogas

Ein Großteil der Biogasanlagenbetreiber fahren ihre Anlage nach dem „Black-Box-Prinzip“, d. h. sie haben keine exakte Kenntnis des chemischen Status in den einzelnen Phasen. Kontinuierliche Daten zur Prozessüberwachung werden zumeist nur aus der Gasanalyse (am Ende der Prozesskette) gewonnen. Hier können aufgrund der Verzögerung (bis Ursachen in Vormischung oder Fermenter Wirkung bei der Gasqualität zeigen) nur begrenzt Erkenntnisse zur Prozesssteuerung gewonnen werden. Folglich findet eine Prozessoptimierung in Echtzeit häufig nicht statt. Mittels Nahinfrarotspektroskopie in Verbindung mit statistischen Analysemethoden wird versucht, den Biogas-Prozess kontinuierlich zu überwachen. Dabei kann in Verbindung mit chemisch-statistischen Analysemethoden (Chemometrie) das Substrat stetig überwacht werden. Anhand der abnehmenden absoluten Reflexion des Substrates, die mittels Spektralmessung quantifizierbar ist, lässt sich der Fermentationsgrad erkennen. Daraus können wiederum entsprechende Handlungsoptionen abgeleitet werden.⁸¹

Außerdem sollen grüne Algen in naher Zukunft das Kohlendioxid aus dem Biogas per Photosynthese in Biomasse umwandeln, die dann wieder vergoren wird. Die Schmack Biogas AG startete im Auftrag der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe im Juli 2006 mit einer Pilotanlage auf dem Werksgelände. In ersten Labortests konnten Algen bereits bis zu 50 % des Kohlendioxids umwandeln. Das Projekt befindet sich allerdings noch im Forschungsstadium. Einschränkender Faktor ist z. B. eine ausreichend starke Lichteinstrahlung, die für die Photosynthese benötigt wird.⁸²

In verschiedenen Versuchsanstalten wird auch an erheblich größeren Biomasse-Erträgen je Pflanze geforscht; in diesem Bereich werden in den nächsten Jahren erhebliche Fortschritte erwartet.⁸³

⁸¹ Vgl. Andree und Thiessen (2006: 34 ff).

⁸² Vgl. Donner (2005: 9).

⁸³ Vgl. URL: http://www.interconnections.de/id_8521.html (Stand: 07.08.2006).



3.12 Faustzahlen und weiterführende Informationen

Faustzahlen zur groben Orientierung sind:⁸⁴

‡ 1 GV ⁸⁵	liefert	200-250 m ³ Methan/Jahr
‡ 1 kW inst. elekt. Leistung	erfordert	1000-2000 m ³ /a Methan
‡ 1 t = 1 m ³ Gülle	entspricht	12-26 m ³ Methan
‡ 1 t Silomais (30 % TS)	entspricht	85 m ³ Methan
‡ 1 t Wiesengras (35 % TS)	bringt	85 m ³ Methan
‡ 1 ha Silomais/Futtermühen	bringen	Gasmenge wie ca. 20 GV
‡ Investitionskosten je m ³ Faulraum	betragen	250-400 €/m ³

Aufgrund der vielschichtigen Thematik kann im Rahmen dieser Studie nicht auf jede Einzelheit eingegangen werden. Daher soll an dieser Stelle auf weiterführende Literatur hingewiesen werden:

- ‡ Besonders empfehlenswert sind Informationen der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe⁸⁶.
- ‡ Eine erste Einschätzung zur Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage wird im Internet unter URL: <http://www.zukuenftig-bioenergie.de> ermöglicht. Es steht dort ein „Biogasrechner“ zur Verfügung.
- ‡ Unter URL: <http://www.deutsche-energie-agentur.de> werden Informationen zu aktuellen Fördermaßnahmen gegeben.
- ‡ Unter URL: <http://www.biogas.org/> ist der Fachverband Biogas e. V. zu finden.

⁸⁴ Vgl. Schulz und Eder (2006: 225).

⁸⁵ Eine Großvieheinheit entspricht einer erwachsenen Milchkuh.

⁸⁶ Weiterführende Informationen unter URL: <http://www.fnr-server.de/> (Stand: 08.08.2006).



4. Fazit/Gesamtkontext

Das Bioenergiedorf Jühnde zeigt, dass Biomassekonzepte zur stetigen Versorgung eines ganzen Dorfes mit Energie keine Theorie mehr sind und die Technologie aus den Kinderschuhen herausgewachsen ist. Gleichzeitig bietet dieses Konzept der dezentralen Energieerzeugung eine Möglichkeit, Arbeitsplätze auf dem Land und in der Landwirtschaft zu erhalten.⁸⁷

Die Eröffnung der ersten öffentlichen (Roh-)Biogastankstelle hat einen ähnlichen Effekt. Der Boom der Biomasse hat bereits begonnen. Biomasse ist im Gegensatz zu Wind- und Sonnenenergie ein grundlastfähiger Energieträger, dessen Bedeutung noch zunimmt.

⁸⁷ Vgl. URL: <http://www.bioenergiedorf.info/aktuelles/aktuelles.html> (Stand: 08.08.2006).



Literaturverzeichnis

- Andree, H. und E. Thiessen. Biogasanlagen-Technologie zur Prozessüberwachung. In: Landpost vom 6. Mai 2006: 34-36. Stuttgart.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) (Hrsg.) (2004). Biogashandbuch Bayern. München.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU/Z III 1) (Hrsg.) (2004). Mindestvergütungssätze nach dem neuen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 21. Juli 2004. URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verguetungssae tze_nach_eeg.pdf. Geladen am: 06.07.06.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)-Referat Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.) (2006). Energieversorgung für Deutschland. Statusbericht für den Energiegipfel am 3. April 2006. Berlin.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. (BMU) Referat KI I1 - „Allgemeine und grundsätzliche Angelegenheiten der Erneuerbaren Energien“ (BMU) (Hrsg.) (2006). Entwicklung der Erneuerbaren Energien 2005. URL: http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_aktuellersachstand.p df. Geladen am: 06.07.06.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit-Referat Öffentlichkeitsarbeit (BMU) (Hrsg.) (2006). Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft. URL: http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/brosch huere_ee_innovation.pdf. Geladen am: 06.07.06.
- Donner, S. (2006). Algen sorgen für saubere Energie. In: Handelsblatt, Nr. 118 vom 22.06.2006: 9.
- Eder, B. und Schulz, H. (2006). Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele. Freiburg.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.) (2002). Energie aus Biomasse. Gülzow.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.) (2005). Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.) (2006). Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. Gülzow.
- Fachverband Biogas e. V. (Hrsg.) (2005). Biogas - das Multitalent für die Energiewende. Fakten im Kontext der Energiepolitik-Debatte. Redaktion: Markus Ott. Freising.



- Franken, M. (1999). Strom und Wärme aus Holzabfällen. In: Handelsblatt, Nr. 183 vom 22.09.1999: 59.
- Innovationsstiftung Schleswig-Holstein (2005). Biomasse-Anlagen in Schleswig-Holstein. URL.: <http://www.zukuenftig-bioenergie.de>. Geladen am 06.07.06.
- Köberle, E. (1995). Verstromung von Biogas in BHKW. Tagungsband zur Biogastagung des Fachverbandes Biogas vom 3.-6.1.1995 in Weckelweiler.
- Paul, N. (2006). Erste Forschungsergebnisse aus Energiepflanzenanbauversuch - Viel versprechende Ansätze „vom Feld“. In: Landpost vom 13. Mai 2006: o.S. [Seitenzahl fehlt auf Kopie]. Stuttgart.
- Provinzial Versicherungen (Hrsg.) (2006). Nesselblatt 1.2006. Kiel
- Schulz, H. und B. Eder (2001). Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele. Freiburg.
- w.econ LBB Betriebs- und Steuerberatungsgesellschaft KG (2006). Biogas-Gewerbe oder Landwirtschaft? In Steuern agrar-Persönlicher Informationsdienst für Land- und Forstwirte. Ausgabe 2/06. Kiel
- WNO (Hrsg.) (2006). Biomasse - günstiger Energieträger. In: WNO- Wirtschaft zwischen Nord- und Ostsee. Wirtschaftsmagazin der Industrie und Handelskammern Kiel und Flensburg. Ausgabe 6/2006: 34.
- Wuppertal Institut (2005). Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag von BWG und DVGW. Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen. Wuppertal, Leipzig, Oberhausen, Essen.

w.econ Unternehmensberatung KG



Biomassenutzung - Schwerpunkt Biogas August 2006

A - 43

w.econ Unternehmensberatung KG • Kiel

Biomassenutzung - Schwerpunkt Biogas August 2006

w.econ Unternehmensberatung KG • Kiel

Aufstellung Biomasseanlagen in Schleswig-Holstein
Anlage 1

w.econ Unternehmensberatung KG



Biomassenutzung - Schwerpunkt Biogas August 2006

A 1 - 1

w.econ Unternehmensberatung KG • Kiel

Inbetriebnahme	Plz	Ort	Bio-gas-anlage	Bio-gas-anlage ohne Landesförderung	Stroh-feuer-ungs-anlage	Holz-heiz-werk	Holz-heiz-kraft-werk	Holz-pallet-kraft-werk
1986	23909	Mechow	x					
1991	24217	Schönberg			x			
1995	23823	Seedorf		x				
1995	25693	Sankt Michaelisdonn	x					
1996	24850	Lürschau				x		
1996	25764	Norddeich	x					
1996	25850	Behrendorf				x		
1997	23617	Stockelsdorf					x	
1997	23919	Behlendorf	x					
1997	24217	Schönberg				x		
1997	24977	Langballig				x		
1997	25813	Husum				x		
1997	25920	Risum-Lindholm	x					
1998	23845	Itzstedt				x		
1998	24327	Nessendorf/Ellert				x		
1998	24582	Bordesholm				x		
1999	24340	Eckernförde-Domsland				x		
1999	24855	Bollingstedt	x					
1999	24994	Holt	x					
1999	25821	Struckum				x		
2000	24111	Kiel-Süd (Viehburg)				x		
2000	24558	Henstedt-Ulzburg				x		
2000	24975	Ausacker		x				
2000	25566	Rethwisch				x		
2000	25876	Schwabstedt				x		
2001	23769	Puttgarden a. Fehmarn		x				
2001	24568	Nützen		x				
2001	24568	Kaltenkirchen/Moorkaten				x		
2001	24619	Bornhöved		x				
2001	24646	Warder		x				
2001	24802	Groß Vollstedt		x				
2001	24848	Kropp		x				
2001	24896	Treia		x				
2001	24986	Satrup				x		
2001	25712	Buchholz		x				

w.econ KG

w.econ



Biomassenutzung - Schwerpunkt Biogas August 2006

A 1 - 2

w.econ Unternehmensberatung KG • Kiel

Inbetriebnahme	Plz	Ort	Bio-gas-anlage	Bio-gas-anlage ohne Landesförderung	Stroh-feuer-ungs-anlage	Holz-heiz-werk	Holz-heiz-kraft-werk	Holz-pal-let-kraft-werk
2002	23626	Ratekau				x		
2002	23738	Lensahn						x
2002	23823	Seedorf			x			
2002	24803	Erfde/Scheppern		x				
2002	24837	Schleswig				x		
2002	24975	Husby				x		
2002	24992	Janneby		x				
2002	24994	Weesby		x				
2002	25335	Bokholt-Hanredder				x		
2002	25767	Albersdorf	x					
2002	25821	Bredstedt				x		
2002	25860	Horstedt		x				
2002	25885	Oster-Ohrstedt	x					
2003	24395	Nieby						x
2003	25746	Wesseln	x					
2003	25842	Langenhorn	x					
2003	25852	Bordelum	x					
2003	25920	Risum-Lindholm			x			
2004	23552	Lübeck				x		
2004	23777	Stranddorf Augustenhof						x
2004	24327	Blekendorf	x					
2004	24358	Ascheffel			x			
2004	24966	Löstrup					x	
2004	25842	Ockholm			x			
2004	25884	Viöl	x					
2005	23869	Gut Lanken, Elmenhorst	x					
2005	24161	Altenholz	x					
2005	24363	Holtsee	x					
2005	25581	Hennstedt	x				x	
2006	25849	Pellworm	x					
gepl.	23812	Fehrenbötzel	x					
gepl.	25746	Lohe-Rickelshof	x					
gepl.	25923	Braderup	x					
gepl.	25938	Borgsum	x					
in Bau	21514	Elmenhorst			x			

w.econ

KG



Biomassenutzung - Schwerpunkt Biogas August 2006

A 1 - 3

w.econ Unternehmensberatung KG • Kiel

Inbetriebnahme	Plz	Ort	Bio-gas-anlage	Bio-gas-anlage ohne Landesförderung	Stroh-feuer-ungs-anlage	Holz-heiz-werk	Holz-heiz-kraft-werk	Holz-pallet-kraft-werk
in Bau	23730	Sibstin /Altenkrempe	x					
in Bau	23919	Berkenthin						x
in Bau	24214	Neudorf			x			
in Bau	24306	Gut Rixdorf				x		
in Bau	24983	Handewitt				x		
in Bau	25885	Wester-Ohrstedt	x					

Quelle: Innovationsstiftung Schleswig- Holstein (2005).

w.econ Unternehmensberatung KG