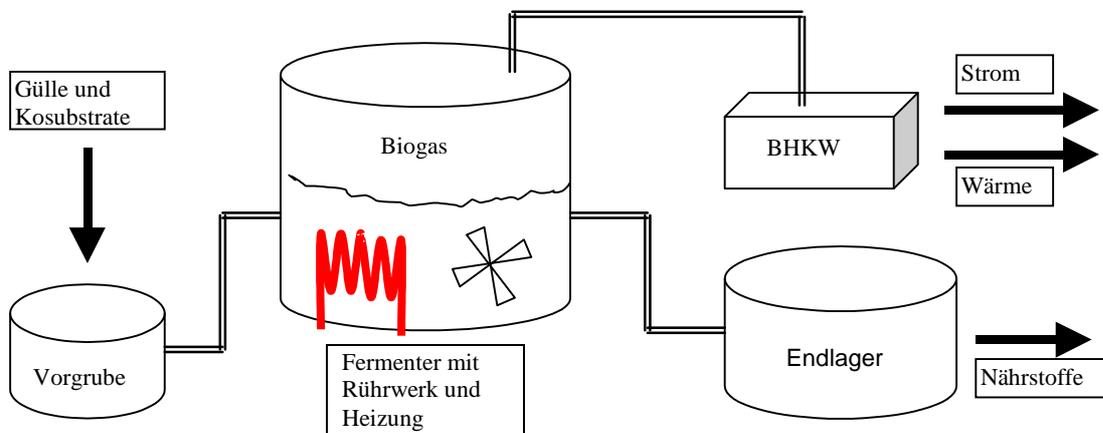


Biogas II

Walter Eggersglüß
Sven Kraschinski †



Biogas II

August 2001

Diese Schrift wurde auf der Grundlage früherer RKL-Schriften von Sven Kraschinski, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Abteilung Land- und Umwelttechnik erarbeitet. Durch einen tragischen Verkehrsunfall kam er im Alter von 31 Jahren am 18.02.01 ums Leben. Sein Kollege, Walter Eggersgluß, hat das Heft dann endgültig zusammengestellt.

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Leiter: Dr. Hardwin Traulsen

Am Kamp 13, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-847940, Fax: 04331-847950

Internet: www.rkl-info.de; E-mail: mail@rkl-info.de

Gliederung	Seite
1. Einleitung	604
2. Biologische Grundlagen, Bakterielle Umsetzung, Einflussfaktoren, Nebeneffekte	605
3. Substrate und Gasausbeuten	609
4. Technische Ausführungen	616
4.1. Anlagensysteme für die Flüssigvergärung	616
4.2. Heizung	621
4.3. Rührreinrichtungen	622
4.4. Pumpen	623
4.5. Einbringung von Feststoffen	623
4.6. Gasspeicherung	624
4.7. Nutzung von Biogas	625
4.8. Feststoff-Vergärung	630
4.9. Sicherheit	631
5. Förderung, Wirtschaftlichkeit, Genehmigung	632
5.1. Förderungsmöglichkeiten	632
5.2. Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen von Stilllegungsflächen	633
5.3. Rechtliche Rahmenbedingungen	634
5.4. Mineralölsteuer	639
5.5. Planung	639
5.6. Wirtschaftlichkeit	639
6. Zusammenfassung	644
7. Literatur	644
8. Adressen	646

1. Einleitung

Biogas ist in seiner Entstehung und Zusammensetzung mit dem Faulgas in Kläranlagen, Deponiegas aber auch mit dem in der Natur vorkommenden Sumpfgas vergleichbar. Beispiele für seine Nutzung reichen weit in das vergangene Jahrhundert zurück. Insbesondere nach den Ölkrisen 1973 und 1980 wurden in Mitteleuropa einige Hundert Biogasanlagen, hauptsächlich auf landwirtschaftlichen Betrieben in Betrieb genommen. Wieder sinkende Preise für fossile Energieträger, Probleme mit Technik, Materialien und Betriebsführung, Unterschätzung des Wartungsaufwandes und der Betriebskosten sowie oft unwirtschaftliche Betriebsgrößen führten dazu, dass die meisten Anlagen nach wenigen Jahren wieder stillgelegt wurden. Andere Anlagen konnten unter günstigen Bedingungen auch in den vergangenen Jahren wirtschaftlich betrieben werden. Die gemachten Erfahrungen und Fortschritte in Forschung und Entwicklung haben ermöglicht, heute mit deutlich verbesserter Anlagentechnik und Prozessführung Biogas produktiver zu erzeugen und zu nutzen. Weiterentwicklungen der Technik und der Verfahrensgestaltung, aber auch ökonomische und politische Veränderungen haben eine grundlegende Überarbeitung der RKL-Schrift Biogas von Dr. Wenzlaff und Dr. Jonkanski aus dem Jahr 1984 (überarbeitet 1994) erforderlich gemacht.

Die aktuellen Rahmenbedingungen, insbesondere die Forderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz, lassen die Nutzung dieser umweltfreundlichen regenerativen Energiequelle für immer mehr Landwirte interessant werden. Nach wie vor gilt es aber, genau zu rechnen. Die Wirtschaftlichkeit der Biogasnutzung wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Bevor Investitionen in einer Größenordnung von mehreren hunderttausend DM getätigt werden, sollte stets die einzelbetriebliche Situation berücksichtigt werden.

Diese Schrift konzentriert sich auf die Nutzung der Energie aus hofbezogenen Biogasanlagen.

Sogenannte Biogas-Gemeinschaftsanlagen, die Gülle zahlreicher landwirtschaftlicher Betriebe und oft auch organische Abfälle als Kofermente vergären arbeiten auf den gleichen biologischen Grundlagen. Die für diese Anlagen aber zusätzlich zu lösenden, anspruchsvollen Organisations- und Hygieneanforderung werden hier aber nicht weiter behandelt.

2. Biologische Grundlagen, Bakterielle Umsetzung und Einflussfaktoren

Biogas entsteht bei der Vergärung organischer Massen unter Luftabschluss. Es ist ein Gasgemisch, das zu ca. 60 % aus Methan, zu einem großen Teil aus Kohlendioxid und aus geringen Anteilen weiterer Gase wie Schwefelwasserstoff und Wasserstoff besteht. Je nach zugeführten Substraten und abhängig von den Betriebszuständen der Anlage kann die Zusammensetzung des Biogases unterschiedlich ausfallen. Beim Vergleich von Angeboten sind die in Wirtschaftlichkeitsberechnungen unterstellte Gasausbeute und der Methangehalt wichtig.

Tabelle 1: Zusammensetzung von Biogas

Chemische Verbindung		Anteil [Vol.-%]
Methan	CH ₄	45 - 75
Kohlendioxid	CO ₂	24 - 50
Wasserdampf	H ₂ O	1 - 6
Stickstoff	N ₂	0 - 3
Wasserstoff	H ₂	0 - 1
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	0 - 1

Bei einem mittleren Methangehalt von 60 % weist ein Kubikmeter Biogas einen Energiegehalt von insgesamt ca. 6 kWh oder 21 Megajoule (MJ) auf und entspricht damit etwa 0,6 Liter Heizöl.

Tabelle 2: Eigenschaften von Biogasbestandteilen (aus Leitfaden Biogas)

Eigenschaften		CH ₄	CO ₂	H ₂ S	Gemisch Volumenanteil v. Methan ist 65 %
Brennwert H _{o,n}	kWh/m ³	11,1	-	-	7,2
Heizwert H _{u,n}	kWh/m ³	10	-	6,3	6,5
Explosionsgrenzen	proz. Vol.-Anteil in Luft	5-15	-	4-45	5-12
Zündtemperatur	°C	700	-	270	650-750
Krit. Druck	bar	47	75	90	75-89
Krit. Temperatur	°C	-82,5	31	100	-82,5
Dichte P _n	kg/m ³	0,72	1,98	1,54	1,2
Dichteverhältnis Gas/Luft		0,55	1,5	1,2	0,9
Wobbeindex W _{o,n}	kWh/m ³	14,9	-	-	7,9
Methanzahl		100	-	-	135
Flammgeschwindigkeit	cm/s laminar	43	-	73	36-38

Biogas steht als Haupt-Abbauprodukt am Ende einer Kette von ineinandergreifenden mikrobiologischen Umsetzungsprozessen (Abb. 1). Daran sind verschiedene, zum Teil hoch spezialisierte Bakterienarten beteiligt, die überwiegend nur bei Abwesenheit von Luftsauerstoff, d.h. unter anaeroben Bedingungen existieren und organische Substanz, also vorwiegend Kohlenstoffverbindungen, ab- und umbauen. Zunächst spalten hydrolytische und fermentative Mikroorganismen die verdaubaren Bestandteile auf und beginnen mit der Vergärung der Bausteinmoleküle. Anschließend treten acetogene (säureliebende) Bakterien in Aktion, die aus den Abbauprodukten der vorangegangenen Phase Verbindungen herstellen, die danach von den eigentlichen Methanbakterien (Archea-Arten) zu Biogas umgewandelt werden. Die Umsetzungsvorgänge geben jeweils auch Energie für den Stoffwechsel

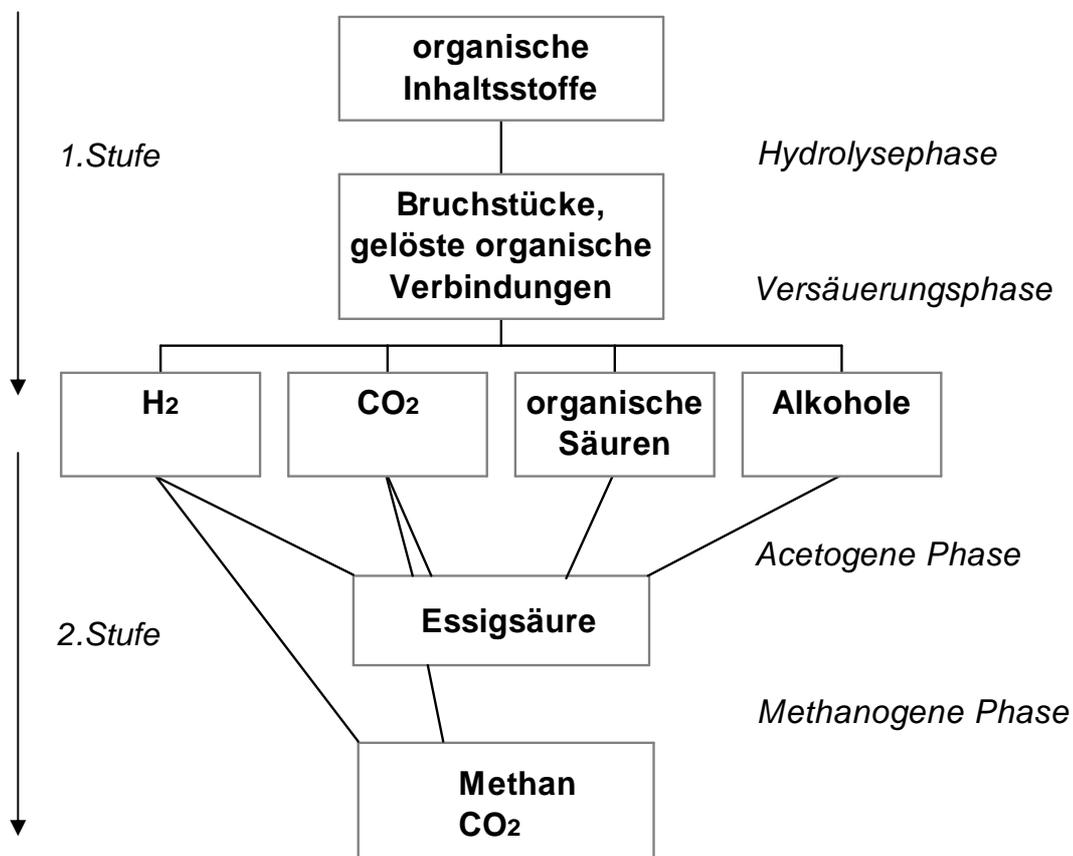


Abbildung 1: Vereinfachtes Schema der Biogasbildung
(nach Biogas in der LW/Land Brandenburg/S. 16/B. Linke)

der Mikroorganismen frei. Die verschiedenen Bakterienarten profitieren von der Tätigkeit der anderen Arten. Die einzelnen Stufen der Methanbildung finden überwiegend gleichzeitig statt.

Die am Ende der Methangärungs-Prozesskette stehenden Methanbakterien beschränken sich auf wenige Arten, die außerdem besonders empfindlich auf

Störungen und Schwankungen ihrer Lebensbedingungen reagieren. Das Verhältnis der verschiedenen Bakterienarten steht in einem labilen Gleichgewicht zueinander, das sich entsprechend den jeweiligen Lebensbedingungen einstellt.

Solche Mikroorganismen-Gesellschaften leben im Verdauungssystem der Nutztiere ebenso wie sie in frischer Gülle nachweisbar sind. Auf diesem Wege kann auch eine neu errichtete Biogasanlage mit den erforderlichen Bakterien beimpft und in Betrieb genommen werden.

Für die Lebensfähigkeit und optimale Funktion dieser Kleinstlebewesen sind darum auch Bedingungen wie im Inneren einer Kuh wichtig:

- Die meisten gebräuchlichen Biogas-Bakterien bevorzugen Temperaturen um 37°C. Sie werden "mesophil", d.h. mittlere Temperaturen liebend, genannt. Andere, thermophile Arten sind auf hohe Temperaturen um 55°C spezialisiert, während wenige psychrophile Arten bei Temperaturen unter 20°C zum Zuge kommen.
- Dunkelheit und die Abwesenheit von Luftsauerstoff müssen ebenso gewährleistet sein wie annähernd neutrale pH-Werte.
- Wie die Temperatur soll auch die Zufuhr von Nährstoffen möglichst kontinuierlich erfolgen. Auf plötzliche Veränderungen reagiert die Bakterienflora empfindlich.
- Um ein Durchmischen, Homogenisieren und das Freiwerden entstehender Gasblasen zu ermöglichen, muss das zu vergärende Substrat häufig in Bewegung gebracht werden, was beim Tier durch Muskeltätigkeit erfolgt.

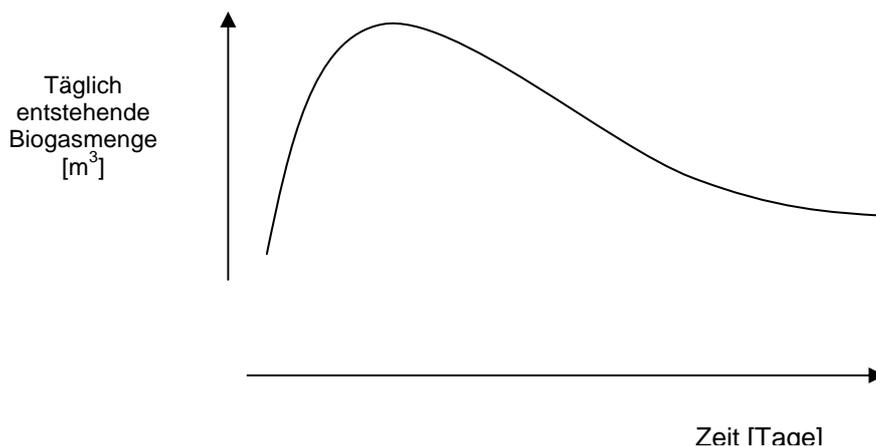


Abbildung 2: Verlauf der Biogasbildung bei der Umsetzung von Gülle

- Schädliche oder giftige Stoffe können den Verdauungsprozess empfindlich stören.
- Menge und Qualität des zugeführten Materials entscheiden über die Qualität und Quantität der Produkte.

Die Vergärung und Freisetzung von Biogas aus einer bestimmten Menge organischer Substanz erfolgen nicht gleichmäßig. Die Gasentstehung ist vielmehr von der biologischen Aktivität und der Verdaulichkeit der Ausgangssubstrate abhängig.

Die Umsetzung des Substrates beginnt mit der Spaltung, Zersetzung und Säurebildung der verdaubaren Inhaltsstoffe. Die Methanbildung setzt erst ein, wenn den Methanbakterien entsprechend verwertbare Vorprodukte der vorangegangenen Bakterientätigkeit zur Verfügung stehen. Innerhalb weniger Tage steigt die Biogasproduktion stark an und erreicht kurzfristig ein Maximum. Danach nimmt die täglich neu entstehende Gasmenge langsam ab. Auch nach mehreren Wochen ist noch eine geringe Bakterientätigkeit und Gasentstehung nachweisbar, die nur sehr allmählich abklingt.

Das Biogas wird aus Kohlenstoff-Verbindungen gebildet, also aus organischen Stoffen wie Zellulose, Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten. In dieser Reihenfolge nimmt auch der Energiegehalt der Verbindungen zu. Entsprechend kann aus Substraten mit hohem Fettgehalt wesentlich mehr Biogas gewonnen werden als aus Material, das vorwiegend aus Zellulose besteht. Aus Wasser kann kein Biogas entstehen. Darum ist der Wassergehalt der Ausgangsstoffe, der aus dem Trockensubstanzgehalt (TS) abgeleitet werden kann, von großer Bedeutung. Noch aufschlußreicher ist der Anteil organischer Trockensubstanz (oTS) an der Gesamtmasse des Ausgangssubstrates. Zu den Stoffen und Verbindungen, die Biogasbakterien nicht umsetzen können, gehören neben Sand und Ton auch die Pflanzennährstoffe Stickstoff, Kalium, Phosphor, Kalzium und die als Spurennährstoffe bekannten Elemente. Auch Lignin kann nicht fermentiert werden; darum eignen sich Holz und verholzte Pflanzenteile nicht für die Vergärung.

Nebeneffekte

Die Vergärung organischer Substrate in Biogasanlagen vermindert die Mengen nicht spürbar, verändert aber die Düngeeigenschaften, die Geruchsemissionen und hat phytosnitäre Effekte.

- Der Abbau der organischen Substanz um 30-50 % macht das Substrat dünnflüssiger und damit besser verteilbar.
- Die Gehalte an N, P und K bleiben weitgehend gleich, der Anteil an Ammonium-N steigt jedoch, was zu einer schnelleren Pflanzenverfügbarkeit führt.
- Die Gefahr der Ammoniakverluste steigt, deshalb wird die Abdeckung von Lagerbehältern und die bodennahe Ausbringung noch wichtiger.
- Das C:N-Verhältnis wird enger, was sich günstig auf die Düngung auswirkt.
- Das ausgefaulte Substrat ist homogener und neigt weniger zu Schwimm- und Sinkschichten

- Vergorenes Substrat riecht weniger (40-70 %).
- Krankheitserreger und Unkrautsamen werden mit zunehmender Gärtemperatur stärker reduziert.

Es ist schwierig die Veränderung der Substrateigenschaften durch den Gärprozess monetär zu bewerten. Einzelne Betriebe sehen einen Vorteil von mehr als 1 DM je m³ Substrat, andere setzen hier keinen Betrag an.

3. Substrate und Gasausbeuten

Während für die Vergärung von Gülle genügend abgesicherte Daten aus Versuchen und zahlreichen, langjährig betriebenen Praxisanlagen vorliegen, werden für die möglichen Gasausbeuten aus Kosubstraten von verschiedenen Autoren sehr unterschiedliche Werte genannt. Anhand von Laborexperimenten oder der Analyse von Inhaltsstoffen und Modellierung der biochemischen Umsetzung wurden theoretisch mögliche Gasausbeuten ermittelt. Die Übertragbarkeit einzelner Ergebnisse aus kleinen Laboranlagen wird oft angezweifelt.

Tabelle 3: Durchschnittliche Anhaltswerte für den Anfall tierischer Exkreme bei mittleren TS-Gehalten

Tierart	Gülleanfall Liter je Tier und Tag
Milchkuh	60
Rind > 2 Jahre	40
Jungrind > 3 Monate Mastbulle > 3 Monate	20
Kälber < 3 Monate	3,3 kg Festmist
Fresser < 5 Monate	6
Sauen ferkelführend und tragend	18
Abgesetzte Ferkel im Aufzuchtbetrieb (Babyferkel)	2,2
Mastschwein Breifütterung	3,3
Mastschwein Flüssigfütterung	4,4
Legehennen Flüssigmist	0,16
Legehennen Trockenkot	0,07 kg Festmist
Masthähnchen	0,02 kg Festmist

In Praxisanlagen sind die maximalen Gasausbeuten nicht erreichbar, da bei vielen Substraten für eine vollständige Umsetzung unwirtschaftlich lange Verweilzeiten und entsprechend große Gärbehälter erforderlich wären. Kosubstrate werden erst seit wenigen Jahren in einer nennenswerten Zahl von Biogasanlagen mit vergoren.

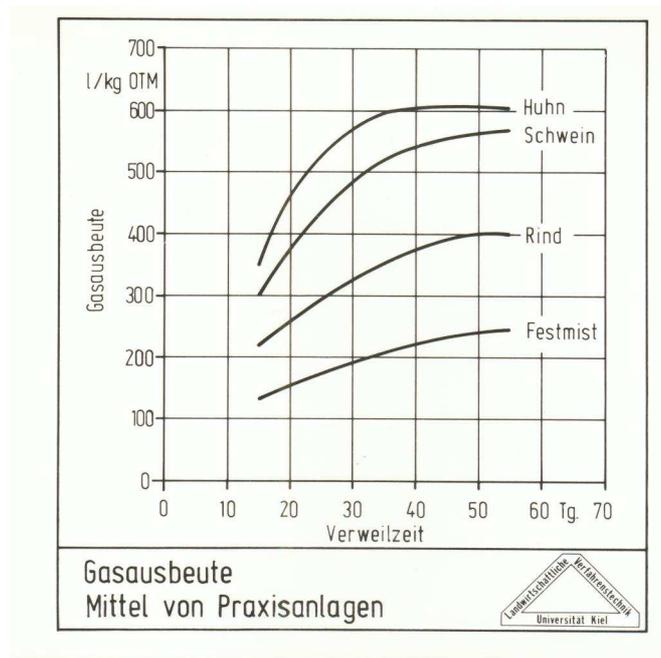


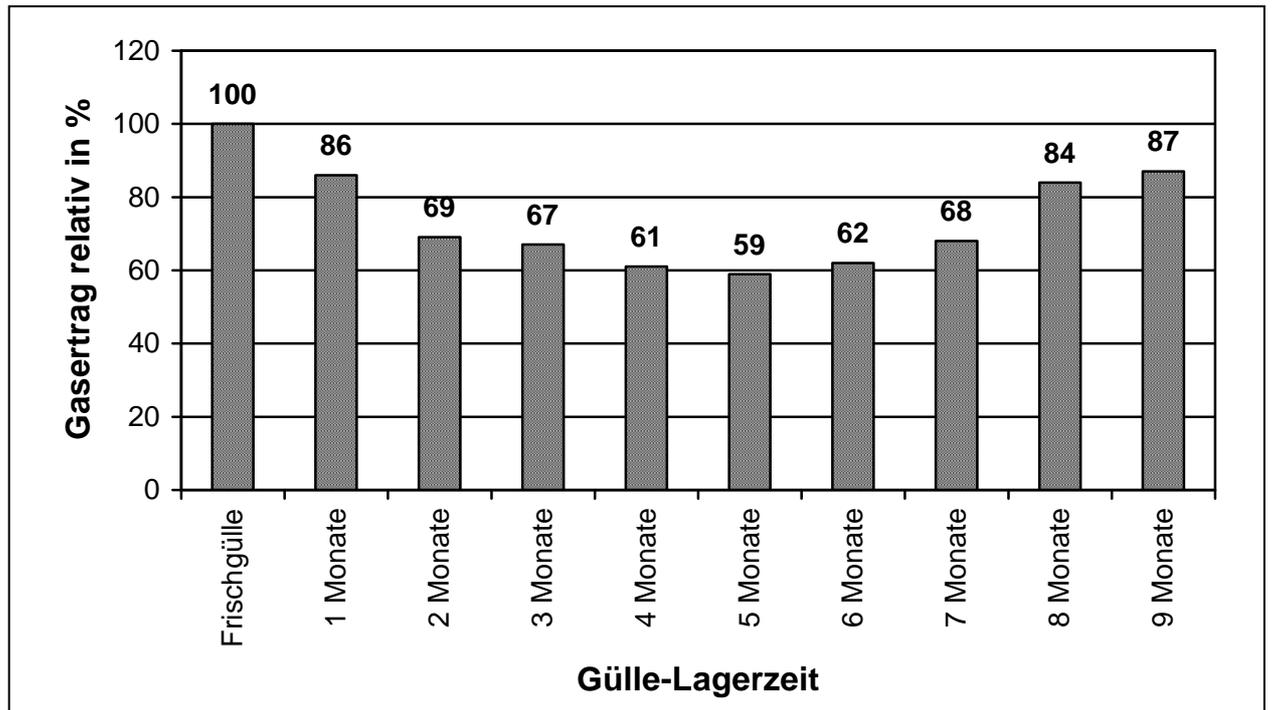
Abb.3: Gasausbeuten, Mittelwerte von Praxisanlagen

Bezogen auf eine Großvieheinheit und einen Tag ($\text{m}^3/\text{GV.d}$) kann man von folgenden Biogasproduktionswerten und damit *Stromerträgen* (bei $0,20 \text{ DM/kWh}$) ausgehen:

Rinder	1,05	$\text{m}^3/\text{GV.d}$	>	$0,42 \text{ DM}/\text{GV.d}$
Schweine	0,90	$\text{m}^3/\text{GV.d}$	>	$0,36 \text{ DM}/\text{GV.d}$
Geflügel	1,30	$\text{m}^3/\text{GV.d}$	>	$0,52 \text{ DM}/\text{GV.d}$

Die verfügbaren Daten aus in Betrieb befindlichen Anlagen schwanken allerdings aus unterschiedlichen Gründen in weiten Bereichen:

- Die Menge der zugeführten Substrate wird nicht exakt erfasst,
- über die Zusammensetzung und Inhaltsstoffe der Substrate besteht keine Kenntnis,
- mangels Meßtechnik wird der Gasertrag über den Stromverkauf geschätzt,
- es werden häufig verschiedene Kosubstrate mit eingemischt, kontinuierlicher Betrieb mit gleichbleibenden Ausgangsstoffen ist nicht gewährleistet,
- erst nach mehrmonatigem Betrieb stellen sich stabile Betriebszustände ein,
- Betriebsstörungen verringern die im Jahr erzielte Gasausbeute,
- Wunschdenken und ideologisch beeinflusste Absichten wirken sich auf Veröffentlichungen und Aussagen aus.
- Die Lagerzeit wirkt sich auf den Gasertrag aus.

Abb 4.: Einfluss der Lagerzeit auf den Gasertrag (Landtechnik Weihenstephan)**Tabelle 4:** Biogasausbeuten verschiedener Substrate

Substrat	TS-Gehalt (%)	davon oTS (%)	C/N- Verhältnis	Gasausbeute	
				Angaben verschiedener Quellen (l/kg oTS)	Basis für Kalkulationen (l/kg oTS)
Apfelschlempe	2-3,7	94-95	6	450-500	400
Apfeltrester	25	86	30	350-550	400
Biertreber	15-21	66-95	9-10	Bis 500	380
Bioabfall	60-75	30-70	40-80	300-900	
Fett (Fettabscheider)	2-70	77-99	-	bis 1300	700
Flotatschlamm	5-24	83-98	-	900-1200	700
Futterrüben	15	90	-	bis 1100	700
Gemüseabfälle	5-20	76-90	15	400-600	
Getreidestroh	85-90	85-89	70-165	250-450	400
Grassilage	25-40	67-98	-	450-700	600

Substrat	TS-Gehalt (%)	davon oTS (%)	C/N- Verhältnis	Gasausbeute	
				Angaben verschiedener Quellen (l/kg oTS)	Basis für Kalkulationen (l/kg oTS)
Geflügelkot	10-35	70-80	-	300-600	500
Grünschnitt	12-42	87-93	12-27	450-750	600
Kartoffelkraut	25	79	16-25	500-600	
Kartoffeln, ganz	20-25	90	-	450-500	500
Kartoffelschlempe	12-15	90	3-9	430-550	400
Laub	85	82	50	400-600	
Magen-/Darminhalt	12-15	80-84	17-21	300-550	
Maissilage	30-35	90-95	-	600-750	600
Melasse	80	95	14-27	450	
Pferdemist (frisch)	28	75	18	300-400	350
Molke	4,3-6,5	80-92	27	800-900	
Obsttrester	40-50	30-93	30-50	450-600	400
Raps- Extraktionsschrot	88	93	8	500-600	
Rindergülle	6-12	68-85	10-17	150-400	350
Rindermist (frisch)	12-25	65-85	14-25	300-450	400
Rübenblatt	15-18	78-80	15-16	400-530	500
Schafmist (frisch)	20-30	80			450
Schweinegülle	2,5-10	60-85	5-10	300-450	450
Schweinemist (frisch)	20-25	75-90	9-16		450
Speiseabfälle	9-37	75-98	15-20	600-900	
Weizen	86	95	-	600-800	
Zwiebelschalen	82	67			485
Zwiebeln	10	94			890

Institute und Landwirtschaftskammern werden im Rahmen von Forschungsprojekten und Erprobungsvorhaben an unterschiedlichen Versuchs- und Praxisanlagen Daten

erheben und zu einer zuverlässigeren Abschätzung der praktisch erzielbaren Gasausbeuten aus Kosubstraten beitragen.

Vorläufig können behelfsmäßige Richtwerte anhand standardisierter Futterwert-Tabellen errechnet werden [Keymer, Schilcher; Gelbes Heft 66]: Man geht davon aus, dass die an der Biogas-Entstehung beteiligten Bakterien Nährstoffe ähnlich verwerten können wie die artverwandten Bakterien im Verdauungstrakt von Wiederkäuern. Der Gehalt an Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten sowie deren Verdaulichkeit werden aus Tabellenwerken für Wiederkäuer übernommen. Für die Stoffgruppen Proteine, Fette und Kohlenhydrate wurden gesicherte Gasausbeuten veröffentlicht, so dass rechnerisch maximal erzielbare Gasausbeuten für alle Materialien ermittelt werden können, die in Futterwert-Tabellen aufgeführt sind.

Bei der Vergärung von Maissilage mit den genannten Nährstoffanteilen kann also bei vollständiger Vergärung eine maximale Gasausbeute von 545 l Biogas je kg oTS erwartet werden.

Tabelle 5: Beispiel für die Ermittlung der theoretischen Gasausbeute aus dem Futterwert

Substrat: Maissilage, Anfang der Teigreife, TS-Gehalt 23 %						
	Anteil Inhalts- stoffe	Verdaulich -keit	Verfüg- bar	spezifische Gasbildungs- rate	Gasertrag	
verdauliches..	% der oTS	%	g/kg oTS	l/g	l/kg oTS	l/kg TS
Rohprotein	2,1	55	11,55	0,7	8,1	35,2
Rohfaser	5,3	62	32,86	0,79	26,0	112,9
Rohfett	0,6	80	4,8	1,25	6,0	26,1
Asche	2,0	-	-	-	-	-
N-freie Extrakte	13,0	77	100,1	0,79	79,08	343,8
Summe	23,0					518,0
Anteil oTS an der TS					/	0,95
					l/kg oTS	545,3

Verweilzeit und praktisch erzielbare Gasausbeuten

Im praktischen Anlagenbetrieb steht für die Umsetzung der Substrate nur begrenzte Zeit zur Verfügung, weil sonst der Reaktorraum unwirtschaftlich groß gebaut werden müsste. Dabei wird akzeptiert, dass die letzte Phase der langsam abklingenden

Bildung von Biogas (Abbildung 1) bei langsam ablaufender Umsetzung nicht mehr genutzt werden kann. In den meisten Anlagen beträgt die sogenannte Verweilzeit, die durchschnittlich für die Gasentstehung im Faulraum zur Verfügung steht, zwischen 20 und 50 Tagen. Nur jene Substrat-Inhaltsstoffe, die in dieser Zeit umgesetzt werden können, stehen zur Gewinnung von Biogas zur Verfügung. Die Verdaulichkeit des Materials das in die Biogasanlage eingebracht wird, entscheidet wesentlich über die zeitliche Entwicklung der Gasbildung und die praktisch erzielbare Gasausbeute. Da Gülle aus Stoffen besteht, die bereits einen Verdauungstrakt durchlaufen haben, ist der Anteil von Verbindungen, die nicht oder nur schwer aufgeschlossen werden können relativ hoch. Zerkleinerte Rüben gelten hingegen als sehr leicht verdaulich und sollen in einer Biogasanlage innerhalb weniger Tage zu Biogas umgewandelt werden. Praktiker beschreiben aufgrund erster Erfahrungen mit Maissilage deren Umsetzung als zweiphasigen Prozeß: Innerhalb der ersten Woche nach dem Einbringen der Silage bewirkt die leicht verfügbare Stärke aus den Maiskörnern eine hohe Gasproduktion. Anschließend läßt die Biogasbildung einige Tage lang nach, um nach zwei bis drei Wochen ein weiteres Maximum zu erreichen. Zu diesem Zeitpunkt haben die Mikroorganismen große Mengen der schwerer verdaulichen Bestandteile von Stengel und Blatt umgesetzt. Deren große Masse im Silagegemisch wird zu einer entsprechend großen Menge Biogas fermentiert.

Grundsätzlich wird die möglichst rasche Umsetzung des zugeführten Materials gefördert, wenn die Substrate gut homogenisiert und zerkleinert sind. Feste Bestandteile, die gehäckselt oder auf vergleichbare Weise mechanisch vorbehandelt wurden, bieten den Mikroorganismen eine größere Oberfläche zur Besiedelung und Umsetzung.

Die Verweilzeit im Faulraum sollte auf die Verdaulichkeit der wichtigsten Substrate, die in der Biogasanlage verwertet werden sollen, abgestimmt werden. Schnell umsetzbare Stoffe sollten den teuer erbauten Faulraum nicht länger ausfüllen, als für die Freisetzung von ca. 90-95 % der theoretisch erzielbaren Gasausbeute erforderlich ist. Gegebenenfalls kann die Verweilzeit dann auf zwei bis drei Wochen begrenzt werden. Wenn Substrate, die nur relativ langsam in Biogas umgewandelt werden als wesentliche Gärsubstrate eingesetzt werden, sind bei der Vergärung im mesophilen Temperaturbereich vier bis sechs Wochen als mittlere Verweilzeit vertretbar. Geringe Baukosten für den Faulraum erlauben tendenziell längere Verweilzeiten. In vielen Fällen wird eine Biogasanlage aber am wirtschaftlichsten genutzt, wenn Faulraumvolumen und tägliche Substratzufuhr so bemessen werden, dass rund 80 % der theoretisch maximal erzielbaren Gasausbeute aus langsam abbaubaren Stoffen entstehen können.

Hemmstoffe

Futterinhaltsstoffe, Antibiotika und Desinfektionsmittel können die Gasbildung negativ beeinflussen.

Höhere Ammoniumkonzentrationen (NH_4) und auch Futteradditive wie Kupfer und Zink können besonders bei Schweinegülle hemmend wirken. Gleiches gilt bei der Anwendung von Antibiotika und Chemotherapeutika in höheren Dosierungen.

Überschätzt wurde nach Wirz [Biogas-Handbuch] dagegen oft die Wirkung von Stalldesinfektionsmitteln bei korrekter Dosierung. Von 15 untersuchten Stalldesinfektionsmitteln wiesen nur 4 eine starke Hemmung auf. Bei der Mittelauswahl sollte deshalb nach der Verträglichkeit für die Vergärung gefragt werden.

Desinfektionsmittel und ihre Wirkung auf die Biogasentstehung

(nach Wellinger et al. 1991)

Handelsname	Hemmung der Gasproduktion bei korrekter Dosierung
Lysoformin vet.	fast 0
Pantasept	fast 0
Tegodor	fast 0
Beloran 200	3-10 %
Buraton 25	3-10 %
Incidin 02	3-10 %
Lethane 100	3-10 %
Lysovet PA	3-10 %
Multifor Des	3-10 %
Tego 51	3-10 %
Weladyn	3-10 %
Durosept	20-30 %
Incidin anticoc	20-30 %
Dekaseptol	mehr als 30 %
Lysococ	mehr als 30 %

4. Technische Ausführungen

4.1. Anlagensysteme für Flüssigvergärung

Aus den biologischen Grundlagen lassen sich für Konstruktion und Betrieb von Biogasanlagen entsprechende Forderungen ableiten:

- Alle Bereiche, in denen eine Methangärung ablaufen soll, müssen luftdicht abgeschlossen sein und auch den Einfall von Licht oder gar UV-Strahlung verhindern.
- Eine exakt geregelte Heizung muss die optimale Temperatur stets konstant erhalten.
- In allen Biogasanlagen sind Rührereinrichtungen erforderlich.
- Schwimm- und Sinkschichten müssen sicher beseitigt werden können.
- wird grobes, schwer zersetzbare Substrat zugeführt, kann eine mechanische Vorzerkleinerung die Umsetzung wesentlich verbessern.
- Die Zufuhr von Frischmaterial muss möglichst gleichmäßig über die Zeit verteilt in jeweils kleinen Portionen erfolgen.

Als Praxisanlagen zur Biogasgewinnung sind verschiedene Ausführungen möglich:

- Durchflussanlagen,
- Speicheranlagen,
- Speicher-Durchfluss-Anlagen

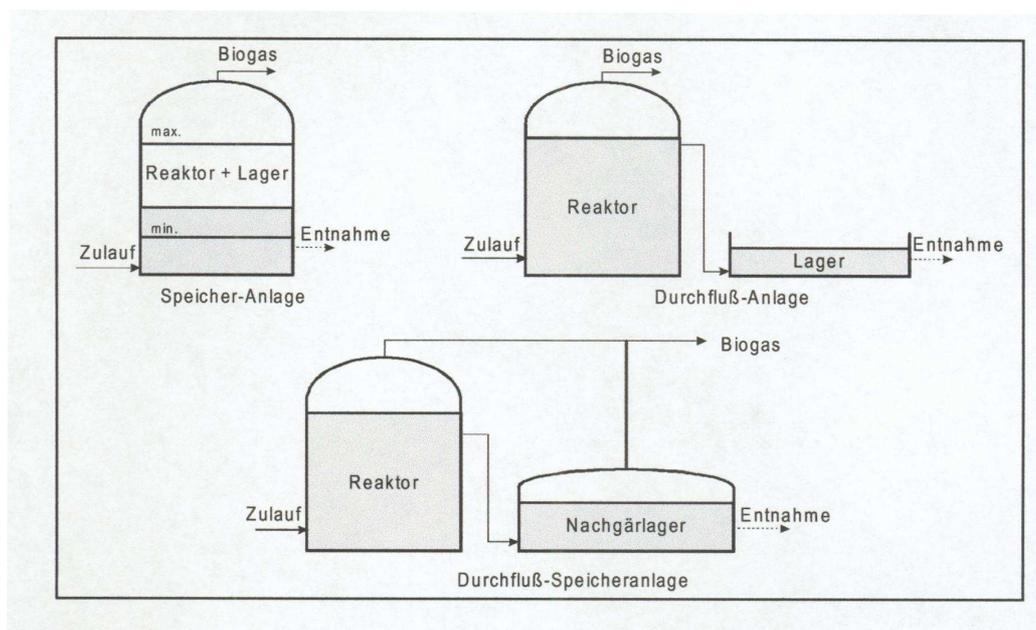


Abbildung 5: Typische Anlagensysteme für Vergärungsverfahren
(Quelle: Gülzower Fachgespräche, Energetische Nutzung von Biogas)

Durchflussanlagen werden kontinuierlich betrieben. Die Menge des Substratinhaltes im Faulraum bleibt konstant, weil mit jeder Zugabe von Frischsubstrat eine entsprechende Menge Fermenterinhalt durch den Überlauf abfließt. Weil regelmäßig gleichbleibende Mengen von Substrat zu- und abgeführt werden, verläuft auch die Biogasproduktion in der gesamten Anlage trotz des phasenweisen Abbaues einzelner Substratpartien (Kapitel 2, Abb. 1) kontinuierlich.

In **Speicheranlagen** sammeln sich die täglich anfallende Gülle und sonstige zugeführte Stoffe kontinuierlich an. Der Flüssigkeitspegel im Fermenter steigt an bis das Faulsubstrat nach einer Lagerzeit von mehreren Monaten auf Nutzflächen ausgebracht wird. Dabei wird der Behälter nicht vollständig entleert. Ein geringer Anteil ausgefaulten Substrates verbleibt in der Anlage und dient durch den hohen Gehalt an aktiven Biogasbakterien als Impfsubstrat für die Vergärung der neu eingeleiteten Stoffe. Weil der Fermenter als Lagerbehälter für die Wintermonate mit Ausbringungsverbot ausreichen soll, ist sein Volumen groß zu bemessen. Dadurch liegt auch der Aufwand für das Rühren und die Erwärmung des Behälterinhaltes deutlich über Durchflußanlagen mit vergleichbarem Durchsatz. Der absätzig betrieb (sogenanntes Batch-Verfahren) hat zur Folge, dass die Gasproduktion im Jahresverlauf schwankt und auch das BHKW nicht mit kontinuierlicher Leistung betrieben werden kann.

Speicher-Durchfluss-Anlagen sollen die Vorteile der vorgenannten Bauformen vereinen: Der Fermenter wird während der Gülleausbringung im Frühjahr bis auf ca. 20% seines Nutzvolumens geleert und so auch als Lagerraum genutzt. Diese Restmenge biologisch aktiven Faulsubstrates impft das frisch zugeführte Material an und leitet dessen Vergärung ein. Frischmaterial wird in kurzen Zeitabständen und jeweils geringen Mengen eingeleitet. Der Füllungsgrad des Fermenters steigt bis zum maximalen Nutzvolumen an und die tägliche Gasproduktion erhöht sich im gleichem Maße. Ist der Fermenter maximal gefüllt, läuft wie beim Durchflussreaktor bei jeder Substratzugabe eine entsprechende Menge ausgefaulten Materials ins Endlager über.

Eine weitere Form der **Durchfluss-Speicheranlage** kombiniert einen vorgeschalteten Hauptfermenter, der nach dem Durchflussprinzip arbeitet, mit einem anschließenden Speicher, der als **Nachgärbehälter** gasdicht ausgeführt ist. Dieser wird im Herbst weitgehend geleert und dient während der Wintermonate als zusätzlicher Speicherraum. Das bakterienreiche, warme Substratgemisch aus dem Hauptfermenter setzt auch im Nachgärer noch nennenswerte Mengen von Biogas frei. Je nach Dimensionierung und Verweilzeit im Hauptfermenter können im Nachgärbehälter zwischen 10 und 40 % der gesamten Gasausbeute gewonnen werden. Bei unbeheizten, nicht wärmegeprägten Endlagern ist insbesondere im

Winter nur mit einer geringen zusätzlichen Gasentwicklung zu rechnen, während ein Nachgärbehälter, der die Temperatur im optimalen Bereich hält insbesondere im Anschluß an einen Hauptfermenter mit kurzer Verweilzeit dessen Gasproduktion fast erreichen kann.

Der Aufwand muss aber im Verhältnis zum Mehrertrag gesehen werden. Die Frage, in welchen Fällen ein Nachgärbehälter sinnvoller als ein größer dimensionierter Hauptfermenter ist, wie dieser dimensioniert und wie umfangreich er ausgestattet sein muss, wird kontrovers diskutiert:

Tabelle 6: Nachbehälter – Pro und Kontra

Argumente für den Nachgärbehälter	Gründe, den Nachgärer einzusparen
Kleinerer (teurer) Hauptfermenter möglich	Erhöhter technischer + baulicher Aufwand
Keine Kurzschlussströme – sicherere Hygienisierung	Höherer Energieverbrauch durch Wärmeverlust an größerer Oberfläche
Verfahrenstechnische Trennung möglich (mesophil-thermophil oder Therm-des)	
Ausbau vorhandener Endlager möglich	Mehr Platzbedarf

Denkbar ist auch, eine Biogasanlage zunächst mit einem Durchflussfermenter für eine geringere Substratmenge zu bauen. Wenn in den folgenden Jahren die Menge verfügbarer Gülle oder von Kosubstraten zunimmt, verkürzt man die Verweilzeit des Materials im Hauptfermenter um 1-2 Wochen und gewinnt zusätzliches Biogas in einem nachträglich erstellten Nachgärbehälter.

Zentrales Bauteil jeder Biogasanlage (Abb. 5) ist der Fermenter, auch Gärbehälter oder Reaktorraum genannt, ein gasdichter Raum in dem die Umsetzung des organischen Substrates zu Biogas erfolgt. Dieser Behälter ist weitgehend mit der Substrat-Bakterienmischung gefüllt. Das entstehende Biogas verdrängt die anfangs noch vorhandene Restluft oberhalb des Flüssigkeitsspiegels.

Als **Baumaterial** kommen sowohl Stahlbeton als auch beschichtete Stahl- oder Edelstahlbehälter in Frage. Entscheidend für die Haltbarkeit der Fermenter aus Beton oder Stahl ist jeweils eine vollkommen dichte Beschichtung der Behälterinnenseite, die sowohl dem warmen und mit unterschiedlichsten Abbauprodukten vermischten Gärs substrat als auch dem im Biogas enthaltenen Schwefelwasserstoff und flüchtigen Säuren möglichst lange standhalten muss. Als kritisch für die Lebensdauer der Fermenter ist insbesondere der Wandbereich im Übergang von flüssigem Gärs substrat und dem gasgefüllten Fermenterraum darüber

zu sehen, weil die wechselnde Einwirkung von Gas und Gärsubstrat das Material besonders beansprucht. Bei Edelstahlbehältern verspricht hier V4A eine längere Lebensdauer als V2A. Entscheidend für die Haltbarkeit der Anlage ist weniger die Frage des Baustoffes, als die Sorgfalt der Bauausführung.

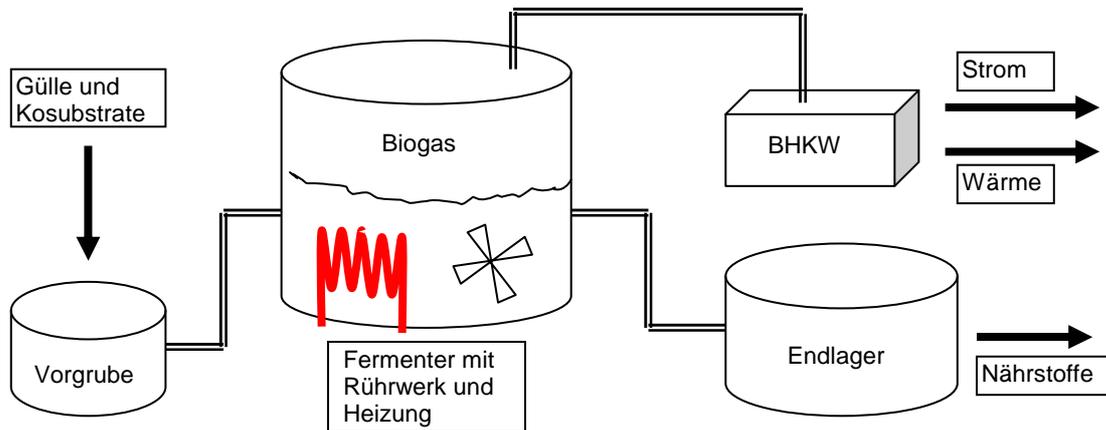


Abbildung 6: Skizze Aufbau einer Biogasanlage (Bild Kraschinski)

Die Wandstärke von Betonfermentern wird oft großzügiger dimensioniert, als bei Gülle-Lagerbehältern vergleichbarer Größe praxisüblich ist (z.B. 220 mm Wandstärke bei Fermentern mit 400 m³ Inhalt), da auch infolge der Temperaturunterschiede höhere Beanspruchungen auftreten.

In der Praxis sind unterschiedliche **Bauformen** von Fermentern verbreitet:

Liegende Fermenter wurden in der Frühzeit der Biogasnutzung oft aus gebrauchten Öltanks, Kesselwagen o.ä. aufgebaut. Üblicherweise durchragt eine zentrale, motorisch drehbare Welle den Behälter auf der ganzen Länge. An dieser Welle sind Streben und Paddelflächen so angeordnet, dass eine kontrollierte Durchmischung des Behälterinhaltes erfolgt. Zu- und Ablauf des Substrates sind an den Stirnseiten gegenüberliegend angeordnet. Es wird eine gute Quervermischung bei geringer Längsvermischung erreicht (Pfropfenströmung). Relativ hohe Gasausbeuten, kein Kurzschluss zwischen Ein- und Auslauf möglich.

Da die Vorschriften für den Straßentransport die Transportbreite fertiger Behälter begrenzen, beträgt der Durchmesser liegender Fermenter meist 2,5 bis 3 m. Weil auch die transportierbare Länge begrenzt ist, erreichen liegende Reaktorräume kaum ein Nutzvolumen über 100 m³. Um größere Substratmengen zu vergären, werden entsprechend mehrere liegende Fermenter in einer Biogasanlage kombiniert. Modulare Bauweise und industrielle Serienfertigung der Reaktorräume können dabei die Baukosten senken. Der bauliche und technische Aufwand für mehrere kleine

Fermenter ist aber stets höher als für einen großen Gärraum mit gleichem Nutzvolumen. Nachteilig ist auch die im Verhältnis zum Inhalt große Oberfläche, die eine besonders gute Wärmedämmung notwendig macht und mehr Aufwand zur Temperierung der Fermenter erfordert.

Stehende Fermenter ähneln zylinderförmigen Gülle-Lagerbehältern und können auch von entsprechend erfahrenen regionalen Bauunternehmen erstellt werden. Sie werden in den meisten Fällen vor Ort aus Beton gegossen oder mit verschiedenen Verfahren aus Metall errichtet (gewickelte Blechbahnen, verschraubte Platten) und unterliegen daher kaum einer Größenbeschränkung. Einzelbehälter mit mehreren Tausend m³ Nutzvolumen sind möglich. Angestrebt wird, durch ein günstiges Verhältnis von Behälterhöhe und Behälterdurchmesser die erforderliche Oberfläche des Baukörpers möglichst gering zu halten, um Statik und Wärmeverluste zu optimieren. Bei genügendem Grundwasser-Abstand bietet sich an, den Fermenter einzugraben und mit einer befahrbaren Decke auszurüsten, um bei begrenzter Hoffläche Platz zu sparen. Oberirdisch stehende Fermenter sind, wenn sie nicht begangen werden müssen, oft mit einem kostensparenden Zelt- oder Tragluftdach ausgerüstet. Dieses besteht aus hochfester und UV-stabiler Kunststoffolie, die sich über eine leichte Stützkonstruktion spannt oder von einem kleinen Gebläse mit geringem Stromverbrauch durch Überdruck in Form gehalten wird. Weil Anlagen mit stehenden Fermentern in vielen Fällen kostengünstiger zu erstellen sind, setzen sich diese vor allem bei mittleren und großen Durchsatzmengen gegenüber der liegenden Bauweise durch.

Die notwendige Durchmischung des Gärsubstrates wird durch zentral oder seitlich angeordnete Rührwerke erreicht. Frisches Substrat wird mit ausgefaultem gemischt, so dass die Einhaltung längerer Verweilzeiten nicht für alle Substratteilchen gewährleistet ist. Die „theoretischen“ Verweilzeiten sollte hier höher liegen als bei liegenden Fermentern.



Abbildung 7: Liegende Fermenter

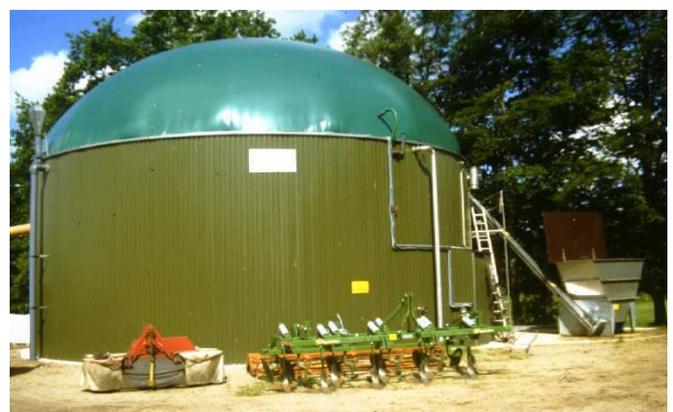


Abbildung 8: Stehende Fermenter

4.2. Heizung

Anders als bei der Kompostierung entsteht durch die anaeroben Umsetzungsprozesse im Fermenter nur wenig Wärme. Um die optimale Temperatur für die Methanbildung aufrecht zu erhalten, muss darum Wärme zugeführt werden. Das geschieht üblicherweise durch eine Beheizung des Fermenters mit temperiertem Wasser, das über die große Oberfläche eines Rohrsystems Wärme an den Reaktorinhalt abgibt. Die Vorlauftemperatur soll dabei nicht wesentlich über der angestrebten Temperatur des Gärsubstrates liegen, um eine Überhitzung von direkt an die Heizleitungen angrenzendem Substrat zu verhindern. Die Heizleitungen befinden sich bei Stahlbeton-Bauweise der Behälter in direktem Kontakt mit dem Gärsubstrat. Dadurch kann die Durchmischung des Behälters behindert werden und es besteht die Gefahr, dass sich Feststoffe und Fasern an den Heizleitungen festsetzen. Werden Heizleitungen in den Betonwänden eingebaut und durch eine dünne, glatte Oberfläche vom Gärsubstrat getrennt, ist mit etwas höherem Heizaufwand zu rechnen und es ist langfristig nicht auszuschließen, dass durch die Temperaturunterschiede im Beton Spannungsrisse entstehen.

Heizleitungen aus Kunststoffrohr (PVC) sind preisgünstiger, bieten aber einen geringeren Wärmeübergang als Leitungen aus Metall. Edelstahlrohre sind sehr haltbar und können dank der guten Wärmeleitfähigkeit bei gleicher Vorlauftemperatur und Volumen sparsamer dimensioniert werden als PVC-Rohre. Entscheidend für die Dimensionierung der Heizleitungen sind das angestrebte Temperaturniveau der Methangärung, die Behältergeometrie und die Qualität der Wärmedämmung des Reaktorraumes. Bei stehenden Fermentern genügt eine alleinige Beheizung des Bodens nicht. Probleme bereiten Bodenheizungen besonders, wenn sich im laufenden Betrieb Sinkschichten ausbilden. Diese können stark wärmedämmend wirken und die Temperierung des Fermenterinhaltens erheblich behindern.

Die ausschließliche Beheizung der Wandfläche hoher Behälter ist bei mesophil betriebenen Anlagen verbreitet, setzt aber eine ausreichende Wärmedämmung voraus. Anlagen, die im optimalen Temperaturbereich thermophiler Bakterienstämme arbeiten, sollten über Wand- und Bodenheizung sowie über gute Wärmedämmung verfügen.

Die erforderliche Wärmedämmung aus dauerhaftem, feuchtestem Material sollte einen k-Wert kleiner als $0,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ erreichen und ist an der Behälteraußenseite anzubringen. Sie soll auch den Fermenterboden einschließen und muss durch Trapezbleche oder ähnliche Verkleidungen vor Witterungseinflüssen geschützt werden.

4.3. Röhreinrichtungen

Damit sich die Heizwärme im Reaktor möglichst gleichmäßig verteilt, um die Freisetzung des Biogases als feine Gasbläschen zu unterstützen und um eine intensive Durchmischung von Frischsubstrat und Bakterien und damit eine rasche Umsetzung zu gewährleisten muss der Fermenterinhalt gerührt werden. Dafür werden unterschiedliche Bauformen von Röhreinrichtungen genutzt.

- Ausführungen, bei denen hydraulisch gerührt wird,
- Pneumatische Röhreinrichtungen und
- Mechanische Rührwerke

Mechanische Rührwerke sind am weitesten verbreitet. Oft werden in stehenden Fermentern Tauchmotor-Rührwerke eingesetzt, die sich ständig im Gärsubstrat befinden und daher kaum Probleme mit trockenen Dichtungen entwickeln, wie sie ggf. beim zeitweisen Einsatz außerhalb von Biogasanlagen auftreten. Andererseits müssen für Wartungs- und Reparaturarbeiten Motor und Röhreinrichtung aus dem Fermenter gehoben werden, was eine Öffnung des Behälters erfordert und entsprechende Gasverluste zur Folge hat. Herkömmliche Tauchmotoren sind nicht in jedem Fall für den Betrieb in 35-40 °C warmer Flüssigkeit konstruiert. Die 5-20°C in offenen Güllagerbehältern und -kanälen gewährleisten eine weit bessere Kühlung der Elektromotoren. Tauchmotoren in Biogasanlagen müssen daher höhere Betriebstemperaturen verkraften können. Keinesfalls darf der Thermoschutz der Antriebe den Rührvorgang zu früh und zu oft unterbrechen und so eine ausreichende Homogenisierung des Fermenterinhalt verhindern.

Bei Langachs-Rührwerken ist der Antriebsmotor außerhalb des Fermenters über eine Welle mit dem Propeller- oder paddelförmigen Rührwerkzeug im Faulraum verbunden. Diese Ausführung eignet sich für stehende und liegende Fermenterbauarten. Die Durchführung der Rührwelle in den Fermenterraum muss dauerhaft gas- und flüssigkeitsdicht ausgeführt werden.

Grundsätzlich müssen Röhreinrichtungen in der Lage sein, den gesamten Faulrauminhalt umzuwälzen und die Bildung von Schwimm- und Sinkschichten zuverlässig zu verhindern. Bei stehenden Fermentern sollten dazu die Rührwerkzeuge in Höhe oder Strömungswinkel veränderbar angeordnet werden können; hohe Gärräume erfordern ggf. den Einsatz von zwei Rührwerken, die in verschiedenen Ebenen angeordnet werden. Großflügel-Rührwerke können so dimensioniert werden, dass die Flügelspitzen auftretende Schwimmschichten mechanisch zerstören.

Abhängig von der Bauart und Leistung des Rührwerkes und der Beschaffenheit des Substrates kommt ein kontinuierliches Rühren des Reaktorinhaltes oder der Intervallbetrieb der Röhreinrichtung infrage. Bei längeren Stillstandsphasen und

beginnender Schichtenbildung sind u.U. sehr hohen Anfahrmomente erforderlich. Für einen Intervallbetrieb von Rührwerken spricht, dass phasenweise Ruhe die Gasbildung fördert. Zugleich können aber Temperatur- und Konzentrationsgefälle entstehen und sich Schichten im Substrat ausbilden. Darum bevorzugen viele Planer und Betreiber einen kontinuierlichen Rührbetrieb mit der geringstmöglichen Drehzahl. So kann Energie gespart und die Tätigkeit der Kleinlebewesen möglichst wenig gestört werden.

Bei der Einbringung von Frischsubstrat ist allerdings am wichtigsten, dieses Material so schnell und gut wie nur möglich einzumischen, eventuell mit erhöhter Rührwerksdrehzahl. Das ist umso wichtiger, je größer die Temperaturdifferenz zwischen Fermenter und frischem Substrat ist und je mehr Material bei jeder Fütterung eingebracht wird.

Wird eine Biogasanlage mit hohen TS-Konzentrationen und Kosubstraten wie Gras, die zur Bildung von Schwimmschichten neigen betrieben, sollte nicht an Rührwerksleistung gespart werden. Der Leistungsbedarf für Pumpen und Röhreinrichtungen steigt bei TS-Gehalten über 10 % überproportional an.

4.4. Pumpen

Um der Biogasanlage regelmäßig frisches Substrat zuzuführen, sollte eine geeignete Pumpe fest installiert werden. Weil täglich nur wenige Kubikmeter möglichst in kleinen Portionen über den Tag verteilt zugeführt werden sollen sind weder große Volumenströme erforderlich, noch müssen hohe Drücke aufgebracht werden. Darum genügen Aggregate geringer Leistung, die möglichst langlebig und zuverlässig sein sollen. Die Balgpumpe empfiehlt sich als fremdkörpersicher, verschleißarm und sparsam im Stromverbrauch vor allem für Gülle und Kosubstrate, die nicht zerkleinert werden müssen. Wenn Gülle mit langfaserigem Stroh oder ungenügend zerkleinerte Kosubstrate zugeführt werden, ist eine Pumpe mit Schneideinrichtung einzusetzen.

4.5. Einbringung von Feststoffen

Um zusätzlich zu wasserreicher Gülle der Biogasanlage Feststoffe wie Mist, Bioabfall oder Nachwachsende Rohstoffe zuzuführen werden derzeit verschiedene Systeme angeboten (Abb.)

Um bei der Direkteinbringung Feststoffe für mehrere Tage unmittelbar bei der Einbring-Einrichtung zu lagern und diesen dosiert und weitgehend automatisch zuzuführen kamen einige Praktiker auf die Idee, einen Miststreuer oder Futtermischwagen entsprechend aufzustellen und für dessen Antrieb anstelle eines Traktors einen Elektromotor mit Getriebe zu installieren. Alternativ kommen auch

Dosieranlagen, wie sie für CCM gebräuchlich sind in Frage. Diese fassen eine oder mehrere Frontlader-Schaufeln und können mit Hilfseinrichtungen gegen Brückenbildung ausgerüstet sein. Wichtig ist dabei, dass auch im Winter ein störungsfreier Betrieb gewährleistet ist und nichts einfrieren kann.

Tabelle 7: Einbringtechniken in den Fermenter

	Energie	Einsatz	Öffnung	Praxis	Probleme	Kosten (DM)
Vorgrube und Mixer	hoch	Universell für alle Substrate	Beliebig	Mixer + Pumpe	Pumpenverstopfung	10.000 bis 20.000
Einwurfschacht durch Decke	mittel bis hoch	Bei leichten Stoffen Pumpe zum Spülen nötig	0,5 x 1,5 m	Einwurf direkt mit Laderschaufel	bei leichten Substraten	3.000 bis 4.000
Einwurfschacht durch Seitenwand	mittel bis hoch	Bei leichten Stoffen Pumpe zum Spülen nötig	0,5 x 2,2 m	Einwurf direkt mit großer Laderschaufel	bei leichten Substraten	4.000 bis 5.000
Seitenschacht (Hochreiter)	hoch	Pumpe mit hoher Fördermenge spült ein	0,9 x 1,2 m	Dosierung notwendig, Absenken des Füllstandes möglich Serienprodukt	bei leichten Substraten, keine Einwurföffnung	4.000 bis 5.000
Schnecke vertikal	gering	Ohne Flüssigkeitszugabe	0,9 x 0,9 m	Störungsanfällig	bei leichten Substraten, Querschnecke oder Dosierband nötig	7.000 bis 15.000
Schnecke horizontal	gering	Ohne Flüssigkeitszugabe Doppelausführung möglich	ca. 1 x 2 m	Serienprodukt (Fa. Schmack)	bei leichten Substraten	5.000 bis 7.000
Einspülkanal über KG-Rohr	mittel - hoch, Stabmixer 5-7,5 kW als Rohrpumpe	Einspülung mit warmer Fermentergülle, kein Temperaturschock	Breite bis 1 m, beliebig lang	Bewährt, Absenken des Füllstandes möglich	Einwurf in kleinen Portionen oder mit Dosiertechnik	3.000 bis 5.000

Quelle: Erwin Köberle, Feststoffeinbringtechnik, Tagungsband Fachverband Biogas e.V. 2001

4.6. Gasspeicherung

Das entstehende Biogas füllt den nicht von der flüssigen Phase beanspruchten Fermenterraum. Biogas, das hier keinen Platz findet, wird bis zur Verwertung in Gasspeichern gesammelt. Stehende Fermenter werden teilweise mit integrierten Foliengasspeichern ausgerüstet. Zur drucklosen Speicherung des Biogases werden ansonsten kostengünstige, große Foliensäcke verwendet. Diese werden zum Schutz

vor Beschädigungen und Wettereinflüssen in ausgedienten Containern, Schuppen oder Hallen untergebracht. Bei einer täglichen Gasproduktion von einigen hundert Kubikmetern, je nach Anlagengröße, wären für die längerfristige Gasspeicherung sehr großvolumige Speicher erforderlich. Biogas zu komprimieren und in Druckbehältern aufzubewahren ist technisch möglich, lohnt aber aufgrund des relativ geringen Energiegehaltes nur in Ausnahmefällen. Drucklose Gasspeicher, welche die Produktion einiger Stunden aufnehmen können, dienen dazu, kurzfristige Schwankungen des Gasertrages auszugleichen und den vorübergehenden Stillstand des BHKW bei Wartungsarbeiten zu überbrücken.

4.7. Nutzung von Biogas

Das Biogas kann wie Erdgas zu Heiz- oder Kochzwecken vor Ort verbrannt werden. Eine Aufbereitung und anschließende Einspeisung in das Versorgungsnetz ist möglich. Die Entwässerung, Entschwefelung und Reinigung des Gases bis zur Erdgasqualität (> 95 % Methan) ist aber so aufwendig, dass diese Nutzung bei den aktuell erzielbaren Preisen in Konkurrenz zum Erdgas unwirtschaftlich ist. Technisch möglich ist ebenso die entsprechende Aufbereitung des Biogases, die anschließende Komprimierung und Verwendung als Treibstoff für mit Druckbehältern ausgerüstete Kraftfahrzeuge. Bereits vor 1960 wurden versuchsweise Traktoren mit Biogas aus Drucktanks angetrieben. Der Aufwand für Aufbereitung und Komprimierung des Gases, für Anschaffung, Wartung und Überwachung der Druckbehälter und der begrenzte Aktionsradius aufgrund der relativ geringen Energiedichte lassen aber trotz gestiegener Kraftstoffpreise Biogas derzeit nicht zu einer Alternative zu Benzin und Diesel werden.

Durch die Kraft-Wärme-Kopplung zur Strom- und Wärmeerzeugung wird Biogas mittels Blockheizkraftwerken (BHKW) heute am wirtschaftlich sinnvollsten verwertet: Neben der besonders wertvollen und mit 0,20 DM/kWh vergüteten Energieform Strom wird Nutzwärme erzeugt. Das Biogas dient als Brennstoff für einen Verbrennungsmotor, der einen Drehstrom-Generator antreibt. Die bei der Verbrennung entstehende Wärme wird vom Motor über das Kühlwasser, das Schmieröl und die Abgase abgeleitet. Angeschlossene Wärmetauscher ermöglichen, den größten Teil dieser Abwärme zur Erhitzung von Wasser zu nutzen, das dann für Heizzwecke zur Verfügung steht.

Block-Heiz-Kraft-Werke (BHKW)

Während in der Anfangsphase der Biogasnutzung mittels BHKW Ottomotoren, die oft aus PKW stammten als Antriebseinheit genutzt wurden, werden sich heute in den meisten Hof-Biogasanlagen Zündstrahl-Motoren zur Gasnutzung eingesetzt. Im Bereich zwischen 20 und über 100 kW elektrischer Leistung werden Aggregate

verschiedener Hersteller angeboten. Es handelt sich dabei um modifizierte Dieselmotoren, die fast baugleich auch in Traktoren und LKW verwendet werden. Das Dieselprinzip, Aufladung und Ladeluftkühlung gewährleisten eine deutlich bessere Brennstoffausnutzung. Um Biogas in diesen Motoren nutzen zu können, wird ein Anteil Diesel oder Heizöl als Zündöl in den Brennraum zudosiert. Üblicherweise wird dem zu verbrennenden Biogas zusätzlich rund 10 % der im Gas enthaltenen Energie in Form von Zündöl zugemischt. Bei schlechter Gasqualität (CH_4 -Gehalt unter 60 %) kann dieser Anteil erhöht werden, um einen runden Motorlauf sicherzustellen. Falls durch Betriebsstörungen der Brennstoff Biogas fehlt, ist es auch möglich, diese Motoren mit reinem Heizöl zu betreiben, um z.B. im Winter die angeschlossenen Gebäude sicher mit Wärme zu versorgen. Weitere wesentliche Vorteile der Zündstrahl-Motoren gegenüber BHKW mit Ottomotoren sind die größere Zuverlässigkeit, längere Standzeit und der bessere Wirkungsgrad. Während Maschinen nach dem Otto-Prinzip oft nur elektrische Wirkungsgrade weit unter 30 % erreichen, ermöglichen Zündstrahl-Motoren je nach Größe, rund 30-5 % der im Biogas enthaltenen Energie in die wertvolle Energieform elektrischer Strom umzuwandeln. Die zusätzlichen Kosten für das Zündöl werden durch die höheren Erträge mehr als aufgewogen: Aus dem Öl werden zusätzlich zum Biogasertrag Strom und Wärme erzeugt. Je Liter Öl produziert das BHKW einen zusätzlichen Stromertrag von über 60 Pfennig. Hinzu kommt noch entsprechend mehr nutzbare Abwärme und die Verbesserung des Wirkungsgrades.



Abbildung 9: Zündstrahl-BHKW

Für größere Anlagen sind BHKW hoher Leistung (> 150 kW) erhältlich, deren Verbrennungsmotoren als reine Gasmotoren von hochverdichtenden Diesel-Ottomaschinen abgeleitet sind, anstelle der, durch Zündölzugabe möglichen, Selbstentzündung über eine elektrische Fremdzündung verfügen und darum ohne Ölbeimischung auskommen. Der elektrische Wirkungsgrad dieser Spezialmotoren liegt bei 35 % und mehr.

Tabelle 8: Merkmale verschiedener Motorbauarbeiten

Merkmal	Benzinmotor: Gas-Otto-Verfahren	Dieselmotor: Zündstrahl- Verfahren	Dieselmotor: Gas-Otto-Verfahren
Preis	niedrig	hoch	sehr hoch
Wirkungsgrad	20 – 27 %	25 – 35 %	30 – >35 %
Lebensdauer	niedrig	mittel	hoch
Geräusch	mittel	stark	stark
Ruß im Abgas	./.	vorhanden	./.
Wartung	hoch	hoch	gering
Zündölverbrauch	./.	10 – 30 %	./.
Ersatzkraftstoff bei Biogasausfall	Flüssiggas (Benzin)	Heizöl, Dieselöl (Pflanzenöl)	Flüssiggas

Um die Investitionskosten möglichst gering zu halten, werden BHKW idealerweise so dimensioniert, dass sie mit dem verfügbaren Biogas nahezu 365 Tage im Jahr fast 24 Stunden täglich laufen, Darum erreichen viele Aggregate Laufleistungen von über 8000 Betriebsstunden im Jahr. Während entsprechende Motoren in Traktoren nach 10.000 bis 20.000 Stunden verschlissen sind, können die Maschinen in Biogas-BHKW auch 30.000 Betriebsstunden und mehr, entsprechend einer Lebensdauer von 3 ½ bis 5 Jahren, ohne Generalüberholung laufen. Dazu trägt bei, dass die Motoren nahezu kontinuierlich mit optimierter Drehzahl (zwischen 60 und 90% der Nenn Drehzahl) bei günstigen Betriebstemperaturen arbeiten und praktisch keine Kaltstarts absolvieren müssen.



Abbildung 10: Container für Gasspeicherung
in Foliensäcken und BHKW

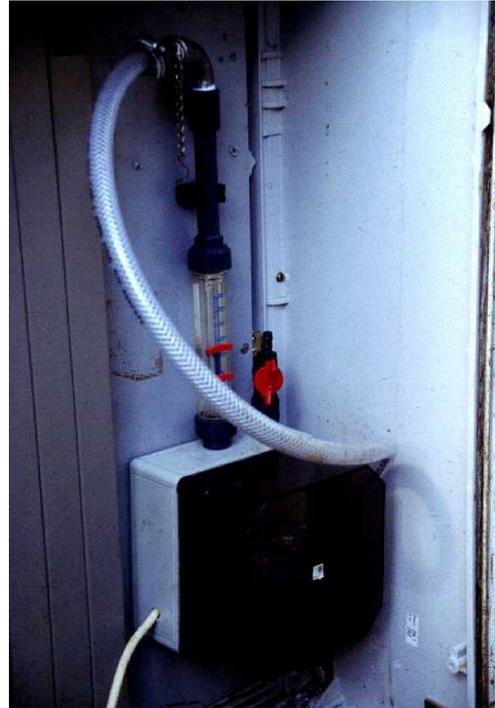


Abbildung 11: Pumpe für Zugabe von Sauerstoff
mit Durchflussmeßgerät

Entschwefelung

Die Lebensdauer der meisten BHKW-Motoren hängt entscheidend von der Qualität des zu verbrennenden Biogases ab. Der Schwefelwasserstoffgehalt (H_2S) spielt dabei eine wesentliche Rolle. Bei der Verbrennung entstehen aus H_2S schwefelhaltige Säuren, die übliche Werkstoffe von Zylinderkopf und Kolben angreifen. Nur Kolben und Laufbuchsen aus Sondermaterialien wie Edelstahl halten den aggressiven Verbrennungsgasen lange Zeit stand. Der H_2S -Gehalt des Biogases kann unter 0,01 % (=100 ppm) aber auch nahe 1 % des Gasvolumens liegen. Er wird von verschiedenen, auf die biologische Aktivität im Fermenter einwirkenden Faktoren beeinflusst und steigt meist mit zunehmendem Eiweißgehalt der Ausgangsstoffe an. Die Hersteller von Blockheizkraftwerken fordern meist einen H_2S -Gehalt unter 0,02 % (200 ppm).

Um den H_2S -Gehalt im Biogas zu senken, sind verschiedene Methoden anwendbar. Die Zugabe von Eisenverbindungen in Pulverform (Eisen-II-Sulfat o.ä.) in den Fermenter bewirkt eine chemische Bindung des Schwefels. Die weiteste Verbreitung hat heute die biologische Ausfällung von elementarem Schwefel durch Schwefelbakterien, deren Tätigkeit durch kontrollierte Luftzumischung ins Biogas gesteuert wird. Dabei wird im Gassammelraum oder im Gassystem vor dem BHKW mit einem relativ kleinen Kompressor ("Aquariumpumpe") dem Biogas kontinuierlich ein Anteil von ca. 6 Vol.-% Luft beigemischt. Mit diesem Verfahren können aber

Konzentrationsspitzen nicht sicher verhindert werden und der verbleibende Schwefelgehalt schließt die Verwendung von Abgaskatalysatoren aus. In größeren Anlagen werden zur biologischen Entschwefelung des Biogases spezielle Baugruppen mit großer Oberfläche und gesteuerten Lebensbedingungen für die Schwefelbakterien als Biokatalysatoren eingesetzt.

Energiebilanz einer Biogasanlage

Für die Erzeugung von Biogas benötigen die entsprechenden technische Einrichtungen Prozeßenergie in Form von Wärme und elektrischem Strom.

Für den Betrieb von Pumpen, Rührwerken und anderen elektrischen Einrichtungen sind bei der Vergärung von Gülle 5-10 % der insgesamt erzeugten elektrischen Energie erforderlich. Die Beheizung mesophil betriebener Fermenter benötigt oft 25-35 % der über Wärmetauscher gewonnenen Motorabwärme. Bei der Vergärung von schwer pumpfähigen Substraten mit hohem TS-Gehalt und wenn zugeführtes Material stark zur Bildung von Schwimm- und Sinkschichten neigt, muss mit höherer Leistung und für längere Zeit gepumpt und gerührt werden. Dadurch kann der Verbrauch elektrischer Energie erheblich ansteigen. Der Heizenergiebedarf variiert in Abhängigkeit von den Umgebungstemperaturen, der Menge und Temperatur des zugeführten Substrates, der Behältergeometrie und der Wärmedämmung des Fermenters. Wenn zusätzliche Brennstoffmengen für Heizzwecke eingespart werden können, lohnt es sich, beim Bau in eine bessere Wärmedämmung zu investieren und dadurch mehr Abwärme nutzen zu können.

Bei einem Netto-Energiegehalt von 100 m³ Biogas von 600 kWh verlassen die Anlage durchschnittlich als

- | | |
|------------------------------------|---------|
| • eingespeister elektrischer Strom | 180 kWh |
| • Prozeßenergieanteil Strom | 10 kWh |
| • verwertbare Abwärme | 240 kWh |
| • Prozeßenergieanteil Wärme | 120 kWh |
| • Anlagenverluste | 50 kWh |

Insgesamt sind rund 2/3 der im Biogas enthaltenen Energie als Strom und Wärme nutzbar, etwa 1/3 muss als Prozeßenergie und Verlust abgeschrieben werden.

Eine vollständige Gesamtenergiebilanz schließt auch die Energieaufwendungen für Herstellung und Betrieb der Biogasanlage sowie für die Herstellung, Beschaffung und Beseitigung der Ausgangssubstrate ein. Bei rund 45 kWh Strom und ca. 60 kWh Wärme, die aus jedem vergorenem Kubikmeter Gülle erzeugt werden können, ist die Gesamtbilanz aber unter allen Umständen positiv.

4.8. Feststoff-Vergärung

Zur Gewinnung von Biogas werden überwiegend Anlagen eingesetzt, die pumpfähiges Material, also Flüssigkeiten oder Flüssigkeits-Feststoff-Gemische mit hohem Wasseranteil wie Gülle umsetzen. Dank der umfangreichen Erfahrungen, die mit dieser Technologie gewonnen wurden, sind die entscheidenden verfahrenstechnischen Einflußgrößen für die Flüssigvergärung heute gut beherrschbar. Darüber hinaus besteht ein Interesse, auch Stoffe und Gemische zu vergären, die nicht pumpfähig sind und daher mit normaler Anlagentechnik nicht verarbeitet werden können:

- Betriebe der Tierhaltung mit größerem Festmistanfall wie Pferdehalter oder Bio-Betriebe mit Strohaufstallung benötigen spezielle Lösungen zur Biogasgewinnung.
- Die möglichen hohen Gasausbeuten aus nachwachsenden Rohstoffen wie Silomais führen zu Überlegungen, solchen Feststoffe direkt zu vergären und weitgehend auf das wasserreiche Substrat Gülle mit seinem begrenztem Biogaspotential zu verzichten.

Die Zumischung von Feststoffen zu Gülle kann die Produktivität einer Flüssig-Biogasanlage deutlich erhöhen. Die Möglichkeiten sind aber durch die Anlagentechnik begrenzt. Die Substratmischung sollte nicht mehr als 12 bis maximal 15 % TS enthalten, um Verstopfungen zu vermeiden und den Aufwand für das Homogenisieren durch Rührwerke im Rahmen zu halten. Der erforderliche Energiebedarf für Pumpen und Rührwerke steigt bei TS-Gehalten über 10 % erheblich an.

Die Vergärung von Feststoffen ist derzeit Gegenstand verschiedener Versuchsvorhaben. Praktische Erfahrungen aus längerfristig betriebenen Anlagen liegen kaum vor. Unterschiedliche Konzepte wurden erdacht und erprobt:

- Gärkanal
- Einfach-Verfahren im gasdichten Container
- Perkulations-Verfahren mit kombinierter Fest-Flüssig-Vergärung

Beim **Gärkanal-Verfahren** werden Feststoffe in durchlässigen Boxen in einen Faulraum eingebracht, der mit bakterienreicher Flüssigkeit gefüllt ist. Die Flüssigkeit durchdringt die Feststoff-Behälter und leitet die Vergärung der Substrate ein.

Beim Einfach-Verfahren verwendet man standardisierte Container oder Absetzmulden, die preiswert zu beschaffen sind und mit einfachen Mitteln gasdicht verschlossen werden. Die Behälter werden per Frontlader mit Feststoffen gefüllt und entleert. Entscheidend für die Vergärung ist, das Material vorher mit einem hohen

Anteil bakterienreichen Impfsubstrates wie Festmist oder Gülle intensiv zu vermischen.

Das **Perkolations-Verfahren** nutzt zur Feststoff-Vergärung Gärflüssigkeit aus einer parallelen Flüssig-Methanisierung als Impfsubstrat. Dieses wird im Gärraum fein verteilt über dem Feststoff-Stapel verregnet und impft diesen beim Hindurchsickern an.

Entscheidender Unterschied zu allen Flüssig-Biogasanlagen ist, dass die Feststoffe im Behälter nicht durchmischt werden (können). Die Verteilung der Biogasproduzierenden Bakterien im Substrat, die Freisetzung und Sammlung des entstehenden Gases und die Weiterleitung der zugeführten Heizwärme zur Erhaltung der optimalen Prozesstemperatur können sich als wesentlich problematischer als bei Flüssig-Anlagen erweisen. Daher müssen zunächst praktische Betriebserfahrungen von Pilotanlagen abgewartet werden, bevor ein Verfahren zur Feststoff-Vergärung empfohlen werden kann.

4.9 Sicherheit

Zu jeder Biogasanlage gehört auch ein Sicherheitskonzept. Unzureichende Sicherheitseinrichtungen führen zu Gefahren für Mensch und Tier.

Gefahren und Risiken von Biogasanlagen sind:

- Erstickungsgefahr in Behältern und Schächten
- Explosionsgefahr (Biogas-Luft-Gemische sind mit 5-12 % CH₄ explosionsfähig)
- Brände
- Überdruck durch Verstopfen oder Einfrieren von Leitungen für Substrat oder Gas
- Kondensatbildung in Gasleitungen
- Korrosion

Die kompletten Sicherheitsregeln können Sie beziehen beim:

Bundesverband der Iw.Berufsgenossenschaften
Postfach 410356
34114 Kassel

Tel. 0561-9359-0
Fax. 0561-9359-22
info@bv.lsv.de

5. Förderung, Wirtschaftlichkeit, Genehmigung

5.1. Förderungsmöglichkeiten

Neben der relativ hohen Einspeisevergütung für den eingespeisten Strom nach dem EEG (Erneuerbare Energien Gesetz) sind für den Bau von Biogasanlagen zinsgünstige Darlehen oder verlorene Investitionskostenzuschüsse möglich.

Für einzelbetriebliche Biogasanlagen ist das bundesweite Programm zur Förderung erneuerbarer Energien interessant. Gefördert wird die Finanzierung durch zinsgünstige KfW-Darlehen. Da die Förderkonditionen nicht konstant sind, ist der aktuelle Stand beim KfW-Informationszentrum Tel. 01801-335577 oder per Internet unter www.bawi.de zu erfragen.

Das KfW-Darlehen hat eine maximale Laufzeit von 20 Jahren und kann 100 % der Investitionssumme abdecken. Drei tilgungsfreie Anfangsjahre sind möglich. Der effektive Jahreszins ist etwas günstiger als normale Kapitalmarktzinsen. Die Förderung durch Zuschuß erfolgt durch Erlass einer zu berechnenden Restschuld, nachdem die Investition getätigt wurde

Landwirtschaftliche Biogasanlagen können alternativ auch nach dem Agrarinvestitionsförderprogramm (Sonderprogramm Energieeinsparung) gefördert werden.

Förderung von Biogasanlagen nach Agrarinvestitionsförderprogramm Sonderprogramm Energieeinsparung

- Zuschuss von bis zu 30 %
 - für die Dauer von 10 Jahren
 - für ein Kapitalmarktdarlehen von bis zu 200.000 DM
 - Energieverwendung >50% im Betrieb oder gewerblicher Nebenbetrieb
 - keine Komplementärförderung möglich

 - positive Einkünfte max.180.000 DM im Mittel der letzten 3 Jahre
 - 3 Jahresabschlüsse
 - Investitionskonzept muss erstellt werden (Berater)
 - Mehrwertsteuer und 20% als Eigenmittel/Eigenleistung zu erstellen
 - 10 Jahre Buchführung
-

Einige Bundesländer bieten Landesprogramme an (Adressen im Anhang).

5.2. Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen von Stilllegungsflächen

Seit der Agrarreform 1993 besteht die Möglichkeit, auf Stilllegungsflächen Pflanzen anzubauen, die nicht in erster Linie für Lebensmittel- oder Futterzwecke bestimmt sind und die ungekürzte Stilllegungsprämie für diese Flächen zu erhalten. Vor allem Energieraps wird in großem Umfang angebaut.

Für die Verwertung in einer Biogasanlage dürfen bestimmte Pflanzen unter Beachtung detaillierter Vorschriften auf Stilllegungsflächen erzeugt werden.

Die so erzeugten Pflanzen sind Anbauerklärungen abzugeben und sie sind zu silieren. Mindesterträge sind nachzuweisen. Eine Denaturierung mit mindestens 5 % Gülle oder Festmist hat beim Einsilieren zu erfolgen. Eine fachkundige Person hat den gesamten Siliervorgang zu kontrollieren. Bei Nichtbeachtung droht der Verlust der Stilllegungsprämie. Der Fachverband Biogas hat eine Liste der fachkundigen Personen. Der Landwirt hat selbst den Kontakt aufzunehmen.

Zuständig für die Umsetzung der EU-Vorschriften ist in Deutschland die

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)

Tel. 069-1554-0

Adenauerallee 40

60322 Frankfurt a.Main

www.ble.de

Die Verwertung von **Maissilage** über eine Biogasanlage ermöglicht je m³ Silage einen Netto-Erlös aus der Stromerzeugung von 30 DM und mehr, abhängig von den Kosten der Biogasanlage. Besteht die Möglichkeit, die zusätzlich durch die Vergärung von Mais anfallende Wärme zu verwerten, erbringt die Kovergärung von Mais ggf. auch mehr als 40 DM/m³ Frischmasse, wenn die Kosten für die entsprechend größere Biogasanlage berücksichtigt werden. Bei Erträgen von 35 t Frischmasse (FM) je ha betragen die Grenzkosten des Maisanbaues auf Stilllegungsflächen einschließlich Ernte, Transport, Lagerung, Einbringung und Erfüllung der BLE-Bestimmungen folglich mindestens 1500 DM/ha. Bei geringen Kosten für die Biogasanlage, hohen Erträgen und guter Wärmeverwertung lohnt auch die Vergärung von Mais der 2000 DM/ha kostet. Gelingt es dem Anlagenbetreiber Mais selbst billiger anzubauen oder zu kaufen, kann die Differenz der Biogaserzeugung zugeschrieben werden.

Die Frage, ob auf Stilllegungsflächen der Anbau von Silomais für die Biogaserzeugung oder aber anderer nachwachsender Rohstoffe, wie z.B. Energieraps sinnvoll ist, muss im Einzelfall geprüft werden.

5.3. Rechtliche Rahmenbedingungen

Genehmigung und Auflagen für Biogasanlagen

Grundsätzlich sind Biogasanlagen als bauliche Einrichtungen genehmigungspflichtig. Einzelbetriebliche Hofanlagen, die bestimmte Größenordnungen nicht überschreiten können von der unteren Bauaufsichtsbehörde baurechtlich genehmigt werden.

Aufgrund der von Biogasanlagen potentiell ausgehenden Emissionen (Lärm, Geruch und Abgase) ist bei größeren Anlagen eine Genehmigung nach dem vereinfachten Verfahren der BimSchVO gemäß Bundes-Immissionsschutz-Gesetz (BimSchG) erforderlich.

Bei größeren Anlagen sind die Immissionsschutzbehörden zuständig (in Schleswig-Holstein die Staatl. Umweltämter).

Eine Genehmigungspflicht besteht, sofern eines der folgenden Kriterien erfüllt wird:

- Die Einrichtung zur Verwertung von Biogas hat mehr als 350 kW Feuerungswärmeleistung,
- Die Güllelagerkapazität beträgt mehr als 2500 m³,
- Bei der Kofermentation werden mehr als 10 t/Tag organischer Abfälle verwertet,
- Die Biogasanlage ist Nebeneinrichtung einer genehmigungspflichtigen Tierintensivhaltung

Sollen betriebsfremde Substrate vergärt werden, sind die Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWirtschG/AbfG) und der Bioabfall-Verordnung zu beachten. Eine Verwerternummer ist zu beantragen.

Für die **Erteilung einer Verwerternummer** als Voraussetzung für die Annahme betriebsfremder Bioabfälle in Schleswig-Holstein ist zuständig:

Gesellschaft für die Organisation der Entsorgung
von Sonderabfällen mbH (GOES)
Saalestraße 8
24539 Neumünster

Tel. 04321-9994-0
Fax. 04321-999444
info@goes-sh.de
www.goes-sh.de

Substratausbringung nach Kofermentation

Die Zugabe verschiedener Kosubstrate kann erheblich zur Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen beitragen. Bei der Ausbringung von Kofermenten auf landwirtschaftlichen Flächen ist die Bioabfall-Verordnung zu beachten.

Die Klärschlamm-Verordnung wäre zu beachten, wenn Klärschlamm mitvergoren werden sollte. Nach Bio-Abfall-Verordnung sind Pflanzenreste, die im landw. Betrieb verbleiben keine Abfälle. Der Faulschlamm aus der Kofermentation von Silomais etc. wird nicht anders behandelt als die normale Gülleausbringung, da es sich nicht um Reststoffe oder Abfälle handelt.

- Die Bio-Abfall-Verordnung gilt nicht für Vergärung von Wirtschaftsdünger, der im eigenen Betrieb ausgebracht wird und landw. pflanzliche Bioabfälle, die im eigenen Betrieb verbleiben. Hier gelten DüngeVO und DüngemittelVO. Sobald andere Bioabfälle mitvergoren werden greift die Bio-Abfall-Verordnung. Die Ausbringung von 33 in Anhang 1 der Bio-Abfall-Verordnung genannten Abfallarten auf landw. Flächen ist möglich. Zahlreiche Beschränkungen und Vorschriften hinsichtlich Vorbehandlung, Boden- und Substratuntersuchung, Nachweispflicht und direkter/indirekter Prozessprüfung sind zu beachten.

Gemeinschafts-Biogasanlagen, die Gärrest in Verkehr bringen erhalten je nach Bundesland und Kreis unterschiedliche Auflagen wegen Seuchenhygiene. In Schleswig-Holstein z.B. wird die äußerliche Reinigung des Wagens vor jeder Fahrt zu einem anderen Betrieb gefordert. Nach der MKS-Diskussion des Jahres 2001 soll ausgegaste Gülle aus Gemeinschaftsanlagen generell nicht wieder auf die Betriebe gebracht werden. Entweder muss sie direkt auf dem Feld verteilt, oder in ein Zwischenlager außerhalb des Betriebs gepumpt werden.

Speiseabfälle: Entsorgungspflicht nach dem Tierkörper-Beseitigungsgesetz. Biogasverwertung erfordert Ausnahmegenehmigung. Diese kann im Einzelfall erteilt werden, sofern keine öffentl. Interessen entgegenstehen. In den meisten Bundesländern gelten folgende Auflagen: Die Partikel müssen auf unter 1 m Länge verkleinert werden. Die Speisereste müssen mind. 1 Stunde auf 70°C erhitzt werden.

Tabelle 9: Vorschriften für die Ausbringung des ausgefaulten Substrates nach der Vergärung von Wirtschaftsdünger und Kosubstraten:

Ausbringung	Hofeigene Flächen	Fremde Flächen
Substrat		
Wirtschaftsdünger	Nur Düngeverordnung + Düngemittel-Verordnung	Unterschiedliche Auflagen der Veterinärbehörden (Seuchen) In S-H so restriktiv wie möglich, Pasteurisierung ist zwingend DüngeVO + DüngemittelVO
Zusätzliches Substrat	Zusätzliche Vorschriften	
Betriebseigener Pflanzenabfall	keine	BioAbfVO
Bioabfall nach Anhang 1 BioAbfVO	BioAbfVO	BioAbfVO
Speiseabfall und andere besonders überwachungsbedürftige Stoffe	BioAbfVO TierKBG Ausnahmegenehmigungen erforderlich	BioAbfVO TierKBG Ausnahmegenehmigungen erforderlich
Klärschlamm	KlärschlammVO	KlärschlammVO
Nachwachsende Rohstoffe wie Silomais	keine	keine

Kofermentation von Gülle und Schlachtabfällen

Der Begriff "Schlachthofabfälle" umschreibt nachstehende Abfallarten mit stark unterschiedlicher Zusammensetzung und weitere organische Reststoffe mit zum Teil sehr unterschiedlichem Gaspotential.

Material	Gasausbeute l/kg oTS
Gülle aus dem Anlieferungs- und Wartebereich	400-450
Magen/Darminhalt	450-550
Panseninhalt	300-400
Blut	500-600
Flotatschlamm	bis 1200
Knochen, Klauen, Haar u.ä.	0
Abwässer mit unterschiedlichen organischen Beimengungen	je nach Inhaltsstoffen

Diese Mischung organischer Reststoffe variiert je nach Schlachtbetrieb, kann aber in vielen Fällen einen technisch und ökonomisch sinnvollen Betrieb einer Biogasanlage ermöglichen. Für die Errichtung einer Biogasanlage in unmittelbarer Nähe eines Schlachtbetriebes spricht, dass:

- dort viel Abwärme auch im Sommer zur Warmwasserbereitung genutzt werden kann
- Transportkosten für frisches Substrat weitgehend entfallen.

Allerdings muss das ausgefaulte Substrat zu entsprechenden Kosten auf Nutzflächen angrenzender Landwirte ausgebracht oder anders verwertet bzw. entsorgt werden. Wie bei der Kofermentation anderer organischer Reststoffe, die nicht vom landwirtschaftlichen Betrieb des Anlagenbetreibers stammen, gelten für die Ausbringung des ausgefaulten Substrates zahlreiche Vorschriften. Die Vorschriften der Bioabfallverordnung greifen für die gesamte Menge des ausgefaulten Substrates, wenn Stoffe mit vermischt werden, die der BioAbfV unterliegen. So wird aus, wenig reglementierter, Gülle auch bei Zugabe von nur 1 % Bioabfall eine große Menge Reststoff der rechtlich nach den Verordnungen zum BioAbfG behandelt wird.

Bei der Kofermentation von Schlachtabfällen muss beachtet werden, dass die Reststoffe der Verarbeitung von Schlachttieren aus zahlreichen Betrieben ein erhebliches Hygienierisiko darstellen. Unterbleiben entsprechende Maßnahmen, kann das Material eine hohe Belastung mit pathogenen Keimen, also Krankheitserregern, aufweisen, die durch Transport, Lagerung und Ausbringung vermehrt und verbreitet werden können. Um Seuchengefahren vorzubeugen, unterliegen in Deutschland daher alle Schlachtabfälle den Vorschriften des Tierkörperbeseitigungsgesetzes (TierKBG) und der anhängigen Verordnungen.

§ 3 Grundsatz

(1) Tierkörper, Tierkörperteile und Erzeugnisse sind so zu beseitigen, dass

1. die Gesundheit von Mensch und Tier nicht durch Erreger übertragbarer Krankheiten oder toxische Stoffe gefährdet,
2. Gewässer, Boden und Futtermittel durch Erreger übertragbarer Krankheiten oder toxische Stoffe nicht verunreinigt,
3. schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes nicht herbeigeführt,
4. die öffentliche Sicherheit und Ordnung sonst nicht gefährdet oder gestört werden.

§ 8 Ausnahmen

Absatz 2) Die zuständige Behörde kann auf Antrag, soweit der Grundsatz des § 3 gewahrt bleibt,

2. im Einzelfall abweichend von § 6 Abs. 1 Satz 1 und § 7 Abs. 1 Satz 1 die Beseitigung von Tierkörperteilen und Erzeugnissen in anderen Anlagen zulassen, sofern öffentliche Interessen nicht entgegenstehen.

Grundsätzlich müssen also Schlachtabfälle an Tierkörperbeseitigungs-Anstalten (TKBA) abgegeben und dort nach vorgeschriebenem Verfahren entsorgt werden. Eine Verwertung in Biogasanlagen ist nur möglich, wenn eine Ausnahmegenehmigung der zuständigen Veterinärbehörde (üblicherweise das Kreisveterinäramt) oder des Regierungspräsidiums dafür erteilt wird. Diese Ausnahmegenehmigung ist in der Regel mit detaillierten Auflagen verbunden:

Um das Risiko einer Verbreitung von Krankheitskeimen nahezu auszuschließen, muss sichergestellt werden, dass sämtliche Schlachtabfälle **hygienisiert** werden. Dafür muss eine Zerkleinerung aller Bestandteile auf Partikelgrößen < 10 mm und eine anschließende Erhitzung für mindestens 60 min auf über 70 °C sichergestellt werden. Auch eine Erhitzung auf mehr als 90 °C kann für die Vergärung bestimmter Materialien zur Auflage gemacht werden. Temperatur und Zeitdauer der Behandlung sind zu dokumentieren und die Aufzeichnungen für behördliche Prüfungen aufzubewahren. Entsprechende Anlagen zur Hygienisierung sind mit einem Fassungsvermögen von 40 m³ für rund 300.000 DM zu beschaffen. Dadurch wird der Betrieb kleinerer Biogasanlagen finanziell erheblich belastet. Zur Erhitzung kann teilweise die vorhandene Abwärme des BHKW genutzt werden. Um aber die erforderlichen hohen Temperaturen zu erreichen, ist eine zusätzliche Energiezufuhr erforderlich.

Ein Vorteil der Hygienisierung ist neben der Sicherheit für die landwirtschaftlichen Abnehmer, Faulsubstrat mit wesentlich reduzierter Keimbelastung gegenüber unbehandelter Gülle auszubringen auch die deutliche Verringerung keimfähiger Unkrautsamen.

Speiseabfälle unterliegen den gleichen gesetzlichen Vorschriften. Sie können aufgrund des hygienischen Risikos ebenfalls nur mit Ausnahmegenehmigungen und nach sicherer Hygienisierung in Biogasanlagen genutzt werden. Nur Speiseabfälle aus privaten Haushalten und vergleichbar geringe Mengen unterliegen nicht der Beseitigungspflicht über TKBA. Als weitere Ausnahme gilt für Speiseabfälle, die ausschließlich pflanzlichen Ursprungs sind, dass diese über die Biotonne entsorgt und kompostiert werden dürfen. Die Abgabepflicht für alle Speiseabfälle aus Gaststätten und Großküchen, die Tierkörperreste und –erzeugnisse enthalten ist mit erheblichen Entsorgungskosten verbunden. Darum erhalten Betreiber von Biogasanlagen, die eine genehmigte Verwertung dieser Abfälle über die Vergärung anbieten können in vielen Fällen neben der kostenfreien Anlieferung auch eine Vergütung für die Entsorgung. Die Beträge sind in den vergangenen Jahren allerdings deutlich gesunken.

5.4. Mineralölsteuer bei Biogasanlagen

Biogasanlagen unterliegen dem Mineralölsteuergesetz und bedürfen deshalb der Erlaubnis des zuständigen Hauptzollamtes. Vor Inbetriebnahme ist Kontakt aufzunehmen.

Zündstrahlmotoren können das Heizöl EL statt Diesel verwenden, wenn sie ortfest sind und einen Gesamtnutzungsgrad von mindestens 60 % aufweisen. Wenn der Nutzungsgrad (monatliche Abrechnung) über 70 % beträgt wird die Mineralölsteuer (derzeit 12 Pf/l) zurückerstattet. Prüfbehörde ist das Hauptzollamt.

5.5. Planung

Da Biogasanlagen derzeit immer noch auf die betrieblichen Gegebenheiten zugeschnittene Einzelfertigungen sind, ist es in der Regel erforderlich in allen Details mit einem versierten Fachmann zu planen und zu bauen.

Vor der Detailplanung ist eine Grobanalyse zu erstellen, die als Basis für die Detailplanung dient. Zu prüfen sind:

- das Biogaspotential aus dem Tierbestand
- das Alter der nutzbaren Gülle
- das Biogaspotential aus **langfristig sicher verfügbaren** Kofermenten und deren Kosten frei Biogasanlage
- die Nährstoffbilanz, auch den Verbleib zusätzlicher Nährstoffe bei Kofermentation
- die mit der Kofermentation verbundenen Mehrkosten (z.B.für Eintragesysteme, Hygienisierung)
- die Einbindung der Biogasanlage in den landwirtschaftlichen Betrieb (Platzierung, Einbindung in das Güllesystem, Stromeinspeisung, Betreuung)
- die Möglichkeiten und der Umfang der Wärmenutzung
- die Möglichkeiten der Förderung
- die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit

5.6. Wirtschaftlichkeit

Die Rahmenbedingungen für die Stromerzeugung mit Biogasanlagen waren noch nie so gut wie derzeit. Das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) schreibt eine Einspeisevergütung über 20 Jahre von 19,8 Pf/kWh für 2002 in Betrieb gehende Anlagen bis 500 kW elektrischer Leistung vor. Die Vergütung sinkt in den folgenden Baujahren um jeweils 1 %. Dies gilt aber jeweils nur für die neu hinzukommenden Biogasanlagen.

Die bereits beschriebenen möglichen Fördermittel (Zuschüsse, zinsgünstige Kredite) reduzieren die jährlichen Festkosten.

Ein interessanter Betriebszweig ist eine Biogasanlage dann, wenn nach Berücksichtigung der Kapitalkosten und der Betriebskosten inklusive der Arbeit ein Unternehmergewinn erzielt wird.

Zahlreiche Faktoren haben Einfluss auf die einzelbetriebliche Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen, so dass eine pauschale Aussage nicht möglich ist.

Wesentliche Faktoren sind:

- die Substrate (Menge, Frische und Qualität, oTS-Gehalt)
- die aus den nutzbaren Substraten praktisch erzielbaren Gasausbeuten
- der Wirkungsgrad besonders der Stromerzeugung aus der Gasenergie
- der sinnvoll nutzbare Anteil der mit erzeugten Wärme
- die Preise für Strom und Wärme
- die Höhe der Investitionskosten für Fermenter, Gebäude, Gasspeicherung, Gasverwertung, sowie Baunebenkosten und Infrastrukturmassnahmen
- mögliche Fördermittel und Zinsbelastung
- die Haltbarkeit der Anlagenbauteile, besonders des BHKW
- die Bereitstellungskosten für die Substrate frei Biogasanlage inklusive Transport, Arbeitsaufwand und Energieeinsatz für die Aufbereitung
- steuerliche Effekte

Für eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnung müssen zahlreiche Detail-Daten vorliegen.

Das Blockheizkraftwerk (BHKW) spielt dabei eine wesentliche Rolle. Der in der Praxis erzielbare elektrische Wirkungsgrad wirkt sich über den Stromverkauf spürbar aus, wie folgendes Beispiel zeigt:

Elektrischer Wirkungsgrad	30 %	35 %
Biogasproduktion in m ³ /a	180.000	180.000
Gasenergieproduktion bei 60 % CH ₄	1.095.000	1.095.000
Stromproduktion BHKW in kWh/a	328.500	383.250
Stromverkaufserlös bei 0,198 DM/kWh	65.043	75.884
Jährlicher Mehrerlös in DM/a	0	10.841

Bei besserem elektrischem Wirkungsgrad sinkt die Wärmeabgabe entsprechend, was aber in der Regel kaum von Bedeutung ist, da Wärme oft im Überfluss zur Verfügung steht.

Weitere wichtige Kriterien sind die Instandhaltungskosten des BHKW. Hier sollte auch berücksichtigt werden, dass preisgünstige Gas-Otto-Motoren nur wenige zehntausend Betriebsstunden halten, hochwertige Maschinen aber mehr als fünfzigtausend. Diese Kosten werden deshalb meist im Verhältnis zur Stromerzeugung angegeben und liegen inklusive Generalüberholungen bei 3 – 5 Pf/kWh.

Die folgende, grobe Wirtschaftlichkeitsabschätzung kann als Vorläufer zu einer detaillierten Wirtschaftlichkeitsanalyse die notwendigen Größenordnungen für Fermenter und BHKW angeben und die jährlichen Gaserträge abschätzen. Daraus ergeben sich dann die jährlichen Einsparungen und Erlöse.

Zieht man die zu erwartenden Betriebskosten ab, so ergibt sich der für die Finanzierung der Biogasanlage zur Verfügung stehende jährliche Betrag.

Die maximalen Investitionskosten unter Berücksichtigung der möglichen Zuschüsse sind für einen Betrachtungszeitraum von 10 bzw. 15 Jahren dargestellt. Den 15-Jahreszeitraum sollte man aber nur bei Einsatz insgesamt überdurchschnittlich hochwertiger Technik als Entscheidungsbasis nehmen.

Wirtschaftlichkeitsabschätzung für eine Biogasanlage

Beispiel

Gülleanfall	12,0	m ³ Gülle /Tag	4.000	m ³ Gülle/Jahr
TS-Gehalt Gülle	8	% TS	960	kg TS/Tag
Tagesmenge organische Substanz	768	kg oTS/Tag		80 % der TS
Gasausbeute Gülle	0,40	m ³ /kg oTS		
Biogaserzeugung aus Gülle	307	m ³ /Tag	112.128	m ³ Biogas/Jahr
Zugabe Cosubstrate	Maissilage 2,0	m ³ /Tag	730	m ³ Cosubstrate/a
Anbaufläche Cosubstrate	13	ha bei Erntemenge	55	m ³ /ha
Raumgewicht	600	kg/m ³	1.200	kg/Tag
TS-Gehalt Cosubstrate	30	% TS	360	kg TS/Tag
Org. TS-Gehalt Cosubstrate	90	% o TS		
Gasausbeute Cosubstrat	0,60	m ³ /kg oTS		
Biogaserzeugung aus Cosubstraten	194	m ³ Biogas /Tag	70.956	m ³ Biogas/Jahr
TS-Gehalt Gülle/Cosubstrat	10	% TS		max. 15 -16 %
Gärbehältervolumen	490	m ³	35	Tage Verweildauer
Raubelastung	2,2	kg oTs/m ³ Tag		< 3
Biogaserzeugung gesamt	502	m³ Biogas /Tag	183.084	m³Biogas/Jahr
	50	kW-BHKW		bei 20 Std.Laufzeit/Tag
Stromverkauf in kWh/a	366.168	kWh/Jahr		2,0 kWh/m ³ Biogas netto
Stromeinspeiseerlös	73.234	DM/Jahr	0,20	DM/kWh
Ersatz von Wärmekosten	5.000	DM/Jahr		Anteil von Heizölkosten
weitere Erlöse	0	DM/Jahr		Ansatz für z.B. Reststoffe
Gesamt-Erlöse	78.234	DM/Jahr		

Überschlägige Ermittlung der maximal wirtschaftlichen Investitionskosten

>>10 Jahre

Betriebskosten Anlagentechnik	18.308	DM/Jahr	0,05 DM/kWh Stromverkauf
Betriebskosten Betreuung	4.563	DM/Jahr	0,5 Std/Tag x 25 DM
Bereitstellung Kosubstrate frei Fermenter	21.900	DM/Jahr	30,00 DM/m ³
Transportkosten Gülle	0	DM/Jahr	0,00 DM/m ³
bleiben für die Finanzierung	33.463	DM/Jahr	
maximale Investitionskosten Betreiber	257.663	DM	AfA 10%;Zins 6%/2 Faktor 7,7
Investitionsförderung	64.000	DM	z.B. 20 %
maximale Gesamt-Investitionskosten	321.663	DM	
maximale Kosten je m ³ Gärbehälter	656	DM/m ³	500-800 DM/m ³

Überschlägige Ermittlung der maximal wirtschaftlichen Investitionskosten

>>15 Jahre

maximale Investitionskosten Betreiber	334.627	DM	AfA 7%;Zins 6%/2 Faktor 10
Investitionsförderung	83.000	DM	z.B. 20 %
maximale Gesamt-Investitionskosten	417.627	DM	
maximale Kosten je m ³ Gärbehälter	852	DM/m ³	500-800 DM/m ³

Wirtschaftlichkeitsabschätzung für eine Biogasanlage

Vordruck

Gülleanfall	<input type="text"/>	m ³ Gülle /Tag	<input type="text"/>	m ³ Gülle/Jahr
TS-Gehalt Gülle	<input type="text"/>	% TS	<input type="text"/>	kg TS/Tag
Tagesmenge organische Substanz	<input type="text"/>	kg oTS/Tag		80 % der TS
Gasausbeute Gülle	<input type="text"/>	m ³ /kg oTS		
Biogaserzeugung aus Gülle	<input type="text"/>	m ³ /Tag	<input type="text"/>	m ³ Biogas/Jahr
Zugabe Cosubstrate	<input type="text"/>	m ³ /Tag	<input type="text"/>	m ³ Cosubstrate/a
Anbaufläche Cosubstrate	<input type="text"/>	ha bei Erntemenge	<input type="text"/>	m ³ /ha
Raumgewicht	<input type="text"/>	kg/m ³	0	kg/Tag
TS-Gehalt Cosubstrate	<input type="text"/>	% TS	0	kg TS/Tag
Org. TS-Gehalt Cosubstrate	<input type="text"/>	% o TS		
Gasausbeute Cosubstrat	<input type="text"/>	m ³ /kg oTS		
Biogaserzeugung aus Cosubstraten	<input type="text"/>	m ³ Biogas /Tag	0	m ³ Biogas/Jahr
TS-Gehalt Gülle/Cosubstrat	<input type="text"/>	% TS		max. 15 -16 %
Gärbehältervolumen	<input type="text"/>	m ³	<input type="text"/>	Tage Verweildauer
Raumbelastung	<input type="text"/>	kg oTs/m ³ Tag		< 3
Biogaserzeugung gesamt	<input type="text"/>	m³ Biogas /Tag	<input type="text"/>	m³Biogas/Jahr
	<input type="text"/>	kW-BHKW		bei 20 Std.Laufzeit/Tag
Stromverkauf in kWh/a	<input type="text"/>	kWh/Jahr		2,0 kWh/m ³ Biogas netto
Stromeinspeiseerlös	<input type="text"/>	DM/Jahr	<input type="text"/>	DM/kWh
Ersatz von Wärmekosten	<input type="text"/>	DM/Jahr		Anteil von Heizölkosten
<u>weitere Erlöse</u>	<input type="text"/>	DM/Jahr		Ansatz für z.B. Reststoffe
Gesamt-Erlöse	<input type="text"/>	DM/Jahr		

Überschlägige Ermittlung der maximal wirtschaftlichen Investitionskosten

>>10 Jahre

Betriebskosten Anlagentechnik	<input type="text"/>	DM/Jahr	0,05 DM/kWh Stromverkauf
Betriebskosten Betreuung	<input type="text"/>	DM/Jahr	<input type="text"/>
Bereitstellung Kosubstrate frei Fermenter	<input type="text"/>	DM/Jahr	Std/Tag x DM
Transportkosten Gülle	<input type="text"/>	DM/Jahr	DM/m ³
bleiben für die Finanzierung	<input type="text"/>	DM/Jahr	DM/m ³

maximale Investitionskosten Betreiber
+ Investitionsförderung

<input type="text"/>	DM
<input type="text"/>	DM
<input type="text"/>	DM

AfA 10%;Zins 6%/2

Faktor 7,7

maximale Gesamt-Investitionskosten

maximale Kosten je m³ Gärbehälter

<input type="text"/>	DM/m ³
----------------------	-------------------

500-800 DM/m³

Überschlägige Ermittlung der maximal wirtschaftlichen Investitionskosten

>>15 Jahre

maximale Investitionskosten Betreiber	<input type="text"/>	DM	AfA 7%;Zins 6%/2	Faktor 10
+ Investitionsförderung	<input type="text"/>	DM		
maximale Gesamt-Investitionskosten	<input type="text"/>	DM		
maximale Kosten je m ³ Gärbehälter	<input type="text"/>	DM/m ³		500-800 DM/m ³

6. Zusammenfassung

Mit Biogasanlagen ist es möglich aus organischen Reststoffen die wertvollen Energieträger Strom und Wärme zu erzeugen. Die Ressourcen der nur begrenzt vorhandenen fossilen Energieträger werden geschont und klimaschädliche Emissionen können reduziert werden.

Die aktuellen Rahmenbedingungen, insbesondere die Forderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz, lassen die Nutzung der Biogastechnologie für mehr Landwirte denn je interessant werden.

Nach wie vor gilt es aber, genau zu rechnen. Die Wirtschaftlichkeit der Biogasnutzung wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Bevor Investitionen in einer Größenordnung von mehreren hunderttausend DM getätigt werden, sollte stets die einzelbetriebliche Situation berücksichtigt werden.

Sollte nach sorgfältiger Abwägung eine einzelbetriebliche Biogasanlage nicht in Frage kommen, ist eventuell die Beteiligung an einer Gemeinschaftsanlage sinnvoll. Zumindest in Schleswig-Holstein sind bereits zahlreiche Projekte in der Entwicklung, bei denen Landwirte nicht nur Substratlieferanten und -abnehmer, sondern auch Anteilseigner der Gemeinschaftsbiogasanlagen werden können.

7. Literatur

- (1) Ergebnisse des LTV-Arbeitskreises „Biogas“ von 1997 bis 1999; Technische Universität München, Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, Freising-Weihenstephan, Gelbes Heft 66 des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- (2) Biogas in der Landwirtschaft: Arbeitsgruppe Bioenergie der Brandenburgischen Energie Technologie Initiative (ETI); Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg; Insitut für Agrartechnik Bornim e.V., Potsdam
- (3) Leitfaden Biogas 2000
- (4) Biogasanlagen: „Enormer Innovationsprozess“; Landwirtschaftsblatt Weser-Ems Nr. 24 vom 15. Juni 2001
- (5) Biogas mit neuer Energie Ressourcen schonen: Feststoffeinbringtechnik; 10. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V., 2001
- (6) 3. Niedersächsische Biogastagung; Wirtschaftsförderkreis Harlingerland e.V.; Biogasanlagenherstellerverband i.G., Förderkreis Biogas e.V.

- (7) Biogas-Handbuch; Grundlagen – Planung – Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen; Verlag Wirz Aarau
- (8) top agrar extra „Biogas“; Landwirtschaftsverlag Münster, 2000
- (9) Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotential; Gülzower Gespräche 2000; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow
- (10) Wirtschaftlichkeit und Förderung von Biogasanlagen; LD Ulrich Keymer, Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, München
- (11) Biogas in Schleswig-Holstein, Bedingungen und Entwicklungstendenzen: Fachtagung der Investitionsbank und Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein am 4.04.2001, DEULA Rendsburg
- (12) Landwirtschaftliche Co-Vergärgungs-Biogasanlagen, Biogas aus organischen Reststoffen und Energiegras; FAT-Berichte Nr. 512, 1998
- (13) Vergärung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen; FAT-Berichte Nr. 546, 2000
- (14) MITTERLEITNER, Dipl.-Ing. (FH) Johann: Stand der Technik bei Biogasanlagen; Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, Freising
- (15) Biogas – Eine alternative Energieversorgung für die ländlichen Räume; Adademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e.V., Eckernförde
- (16) BAADER, W.; DOHNE, E.; BRENNDÖRFER, M.: Biogas in Theorie und Praxis; KTBL-Schrift 229, Darmstadt, 1978
- (17) Kosten landwirtschaftlicher Biogaserzeugung; Beiträge des KTBL-Fachgesprächs vom 25./26.11.1992; KTBL-Arbeitspapier 185, Darmstadt, 1992
- (18) KALTSCHMITT, M.: Biogas – Potentiale und Kosten; KTBL-Arbeitspapier 178, Darmstadt, 1992
- (19) PERWANGER, A.; SCHULZ, H.: Untersuchung und Optimierung von Biogasanlagen in der Praxis mit technisch ökonomischer Vergleichsauswertung; Schlußbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben 03§-8078-A, Forschungsbericht BMFT-FB-T 86217; Karlsruhe, 1986
- (20) PERL, J.: Energie aus Biomasse; BINE-Informationspaket, Karlsruhe, 1988
- (21) WENZLAFF, R.; JONKANSKI, F.: Biogas, RKL 2/1984
- (22) HARTMANN, H.; STREHLER, A.: Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Bd. 3, BML 1995
- (23) Biogasanlagen in der Landwirtschaft, Kurzinformation, Fachverband Biogas e.V., Kirchberg/Jagst

8. Adressen

Verbände / Vereine / Institutionen

Name	Telefon
Zusatz.	Fax
Straße	Email
PLZ / Ort	Internet
Agrar-Förderung und Entwicklung Rostock e.V. Bützowerstraße 1a 18239 Hohen Lukow	038295-74-126 038295-74-142
ATB Potsdam-Bornim Institut für Agrartechnik Bornim e.V. Max-Eyth-Allee 100 14469 Potsdam	0331/5699-0 0331-5699849 atb@atb-potsdam.de www.atb-potsdam.de
Bauernschule Hohenlohe e.V. Am Feuersee 12 74592 Kirchberg/Jagst	07954-926203 07954-926204 www.graskraft.de
Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur Infanteriestraße 1 80797 München	089-1213-1502 089-1213-1444 ulrich.keymer@lba.bayern.de www.lba.bayern.de
Biogas Union e.V. Preußenstraße 23 12524 Berlin	030-678053-22 030-678053-21 biogasunion@t-online.de www.biogasunion.de
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Bundesallee 50 38116 Braunschweig	0531-596310 0531-596363 www.fal.de
Bundesinitiative Bioenergie Godesberger Allee 90 53175 Bonn	0228/959560 0228/9595650 info@bioenergie.de www.bioenergie.de
Bundschuh-Biogas-Gruppe e.V. Zirler Weg 55 71522 Backnang-Maubach	07191-87153 Dieter.Spielberg@t-online.de
C.A.R.M.E.N. e.V. Schulgasse 18 94315 Straubing	09421-960-300 09421-960-300 contact@carmen-ev.de www.carmen-ev.de

Fachgruppe Biogas Energieinitiative Kirchberg e.V. Heimstraße 1 74592 Kirchberg/Jagst	07954-926203 07954-926204 biogas-service@t-online.de www.biogas-zentrum.de
Fachverband Biogas e.V. Angerbrunnerstraße 12 85356 Freising	08161-984660 08161-984670 biogas@t-online.de www.biogasorg
Graskraft e.V. Schillerstraße 34 80336 München	089-595393 089-598147 info@graskraft.de www.graskraft.de
Hessisches Landesamt für Ernährung Landwirtschaft und Entwicklung Kölnische Str. 48 - 50 34117 Kassel	0561/7299-0 0561/7299-220 klaus-dieter.sens@hdlgn.de www.hdlgn.de
Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR) Robert-Koch-Straße 26 48149 Münster	0251-83-33995 0251-83-38352 www.iwr.de
Investitionsbank Schleswig-Holstein Energieagentur Fleethörn 29-31 24103 Kiel	0431/900-3293 0431/900-3652 ERIK.BRAUER@IBANK-SH.de www.ibank-sh.de
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft KTBL Bartningstr. 49 64289 Darmstadt	06151/7001-0 06151/7001-123 www.ktbl.de
Landesbauernverband Sachsen-Anhalt e.V. Maxim-Gorki-Straße 13 39108 Magdeburg	0391-73969-0 0391-7340021 info@lbv-sachsenanhalt.de www.lbv-sachsenanhalt.de
Landtechnik Weihenstephan Vöttinger Str. 36 85354 Freising	08161/71-0 08161/714048 postmaster@tec.agrar.tu-muenchen.de www.tec.agrar.tu-muenchen.de
Landw.Lehranstalten Triesdorf Landmaschinenschule 91547 Weidenbach	09826-18131 09826-18260 www.triesdorf.de
Landwirtschaftskammer Hannover Johannsenstraße 10 30159 Hannover	0511/3665-411 0511/3665-537 www.lwk-hannover.de

Landwirtschaftskammer Rheinland Endenicher Allee 60 53115 Bonn	0228-703-1232 0228-703318
Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz Burgenlandstraße 7 55543 Bad Kreuznach	0671-793-157 0671-793-199
Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein Am Kamp 13 24768 Rendsburg	04331-8479-32 04331-8479-50 LKSH-LUT@t-online.de www.lwk-sh.de
Landwirtschaftskammer Weser-Ems Mars-la-Tour-Str. 1-13 26121 Oldenburg	0441-801-322 0441-801-319
Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe Schorlemerstraße 26 48135 Münster	0251/599-0 0251-599-362 025123760-0005@t-online.de www.lk-wl.de
Saarländische Energieagentur SEA Altenkesselerstraße 17 66115 Saarbrücken	0681-9762-174 0681-9762-175
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft FB 3 Leipziger Str. 200 04430 Böhlitz-Ehrenberg	0341-4472-0 0341-4472314
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Naumburger Straße 98 07743 Jena	03641/683-0 03641/683-390 postmaster@jena.tll.de www.tll.de
Universität Hohenheim Garbenstraße 9 70599 Stuttgart	0711/4592683 0711/4592519 post@uni-hohenheim.de www.uni-hohenheim.de
Universität Stuttgart Institut f.Energiewirtschaft... (IER) Heißbrühler Straße 49a 70565 Stuttgart	0711-7813-909 0711-780-6177 info@biomasse-info.net www.biomasse-info.net

Planungsbüros

AGRO-POOL Bödecker Ges.f.Agrar-Industrie-Technik mbH Chemnitzer Straße 198-200 12621 Berlin	030-566827123 030-5668701
ARCHEA GmbH Gesellschaft für umweltschonende Technologien Hoher Kamp 7 31840 Hessisch-Oldendorf	05152-527160 05152-527161 info@archea.de www.archea.de
BIOGAS SÜDWEST Im Flürchen 13 54309 Newel-Besslich	0651-12107 0651-66009 Biogas-Suedwest@t-online.de
BIOGASKONTOR Erwin Köberle Hauptstraße 6 89611 Obermarchtal	07375/92005 07375/92006 info@biogaskontor.de www.-biogaskontor.de
Biomasseverwertung TÖZ, Marienthaler Straße 17 24340 Eckernförde	04351/735225 04351/735257 info@biomasseverwertung.de http://www.toez-eck.de
biowatt Anlagenbau Tempowerring 6 21079 Hamburg	040-79012225 040-7711021620 info@biowatt.de
Claus Rückert Ing.Büro Im Wiesengrund 3 92259 Neukirchen	09663-95252 09663-95250 rueckert.biogasqt-online.de
Dipl.Ing.E.Schneider Ingenieurbüro Schillerstraße 34 80336 München	089/595393 089/598147
ECB ENVIRO Berlin AG Bühringstraße 6 13086 Berlin	030-47797-0 030-47797-101 info@ecbag.de www.ecbag.de
energie + konzept Mistralstraße 8 22767 Hamburg	040/43254707 040/43254708

EnerSys Ges.f.regenerative Energien mbH Grüner Weg 38 34117 Kassel	0561-102256 0561-1022588 enersys.gmbh@mail.regio.net
EON ENERGY OF NATURE GMBH Friedrich-Ebert-Straße 33 04109 Leipzig	0341-7111-230 0341-7111-609 eon@bio-energie.de www.energy-of-nature.de
EWO Energietechnologie GmbH Mühlenstraße 9 33165 Lichtenau	05295-561 05295-8195 EWO.Energietechnologie@t-online.de www.energieteam.com
IdEA Vor dem Seemoor 5 27404 Rockstedt	04285/8282 04285/1552
Ing.-Büro Hauke Oldsen Dorfstraße 43 25923 Uphusum	04663/7666 04663/7654 hOldsen@t-online.de
Ingenieurbüro für Landtechnik Hofmarkstraße 46 85406 Flitzing	08167/8344 08167/8655
INNOVAS Wilhelm-Hale-Straße 46 80639 München	089/16783973 089/16783975 info@innovas.com www.innovas.com
Knauer Ing-Büro Energietechnik 25821 Reußenköge	04674/818 Auftriebsmotor@01019freenet.de
Krieg & Fischer Ingenieure Hannah-Vogt-Straße 1 37085 Göttingen	0551-77077-10 0551-77077-12 fischer@kriegfischer.de www.kriegfischer.de
LütkeProjekt Weidenbaumsweg 139 21035 Hamburg	040/72410607 040/72410607 H.Luetke@T-online.de
Michael Köttner 74592 Kirchberg/Jagst	07954-926203 07954-926204 biogas-service@t-online.de www.biogas-zentrum.de

PlanET Energietechnik GmbH	02564/97565
	02564/390568
Master Esch 35	PlanET@t-online.de
48691 Vreden	

Planungsbüro Rossow	0395-7782125
Gesellschaft für Versorgungstechnik mbH	0395-7782138
Erzgang 3	nr@rossow.de
17036 Neubrandenburg	www.rossow.de

RHB GmbH	030-54701401
	030-54701402
Allee der Kosmonauten 32	rhb-berlin@t-online.de
12681 Berlin	www.rhb-berlin.de

Sönke Martensen	04641-988888
	04641-988889

Zum Weim 30
24888 Steinfeld

UTECH GmbH	0421/386778-70
	0421/386778-88
Cuxhavener Straße 10	Kopiske@utec-bremen.de
28217 Bremen	www.utec-bremen.de

Anlagenhersteller

Anlagen- und Apparatebau Lütke GmbH	0481/83626-2784
	0481/83622-87378
Forstweg 31	luethe@luethe-heide.de
25746 Heide	www.Luethe.Heide.de

Armaterc Streicher	07522-97690
FTS	07522-80289
Simoniusstraße 18	info@armaterc-fts.de
88239 Wangen	www.armaterc-fts.de

bio system GmbH	07531-690650
	07531-690660
Lohnerhofstraße 7	bio-system@t-online.de
78467 Konstanz	

BIOGAS NORD	0521-5215544
	0521-5215548
Rohrteichstraße 54	info@biogas-nord.de
33602 Bielefeld	www.biogas-nord.de

biogas weser-ems	04407-979469
	04407-922315

Oldenburger Straße 218b
26203 Wardenburg

Bioscan AG Bramscher Straße 111 49090 Osnabrück	0541-60941-0 0541-60941-42 bioscan@t-online.de www.bioscan-ag.de
bioteg GmbH von Linde Straße 16 95326 Kulmbach	09221-9053-80 09221-9053-99 service@bioteg.de www.bioteg.de
BKV GmbH&Co Heinsheimer Höfe 1 74906 Bad Rappenau	07264-9507-0 07264-9507-20
Borsig Energy Centroallee 265 46047 Oberhausen	0208-8441-0 0208-8241-101 info@borsig-energy.com www.borsig-energy.com
BTA Biotechnische Abfallverwertung GmbH&CoKG Rottmannstraße 18 80333 München	089-520460-6 089-5232329 post@bfa-technologie.de www.bta-technologie.de
E.U.R.O.Biogas Anlagenbau GmbH Hasweder Weg 2 29640 Schneverdingen	05193-50503 05193-970543 info@eurobiogas.de www.eurobiogas.de
Eisele & Söhne GmbH & Co.KG Hauptstr. 4 72488 Sigmaringen	07571/109-0 07571/10988 sales@eisele.de www.eisele.de
ENERSYS Gesellschaft für Energiesysteme mbH Josefstraße 10 78166 Donaueschingen	0771-83790-0 0771-83790-99 energie@enersys.de www.enersys.de
EnviTec-Mail GmbH&CoKG Boschstraße 2 48369 Saerbeck	02574-8888-0 02574-8888-100 info@envitec-mail.de www.envitec-mail.de
farmatic biotech energy ag Kolberger Str. 13 24589 Nortorf	04392/9177-0 04392/5864 info@farmatic.com www.farmatic.de
GBU mbH Büro Nord Vertriebsbüro Nord Sandfeld West 13 21755 Hechthausen	04774-290 04774-1252 info@gbunet.de www.gbu-biogas.de

Haase-Energietechnik Gadelander Straße 172 24531 Neumünster	04321-878-0 04321-878-278 hahm@haase-energietechnik.de www.haase-energietechnik.de
Henze Harvestore GmbH Schmelzer Straße 28 59425 Unna Königsborn	02303/96123-0 02303/6483 Henze-Harvestore@t-online.de
ITT Flygt Pumpen GmbH Bayernstr.11 30855 Langenhagen	0511/7800-0 0511/782853 info.deqflygt.com www.flygt.de
Lipp GmbH Maschinen-u. Stahlsilobau Industriestraße 73497 Tannhausen / Ostalbkreis	07964/9003-0 07964/9003-27 info@lipp-system.de www.lipp-system.de
Looock Consultants Kaiser-Wilhelm-Straße 89 20355 Hamburg	040/340934 040/340212 LooockConsultants@compuserve.com
Lüdtke Projekt Weidenbaumsweg 139 21035 Hamburg	040-72410607 040-72410608 info@PowerFarming.de
LVN Landtechnik Vogelsang Nauen GmbH Brandenburger Straße 30 14641 Nauen	03321/455748 03321/453682 lvn-nauen@t-online.de
Niederlöhner Energieanlagen GmbH Weilsbronn 17 91802 Meinheim	09146-253 09146-1530
Novatech Gesellschaft für umweltschonende Technologie Am Schlegelsberg 27 74541 Vellberg	07907-96970 07907-969770 novatechgmbh@t-online.de
P&T Technology AG An der Alster 3 20099 Hamburg	040/284065-0 040/284065-25 windkraft@ot-ag.com www.pt-technology.com
RDS Deitlaff Rehmsweg 11 25782 Schalkholz	04838/838 04838/886

Schmack Biogas GmbH Oberer Mühlenweg 6 93133 Burglengenfeld	09471-604-0 09471-604-204 hotline@schmack-biogas.com www.schmack-biogas.com
Streisal Tauchmotor GmbH Simoniusstraße 26 88239 Wangen/Allgäu	07522-80034 07522-80450 streisal@t-online.de
U.T.S. Umwelttechnik Süd GmbH Steinkirchen 9 84419 Obertaufkirchen	08082-9305-0 08082-9305-50 info@umwelttechnik-sued.de www.umwelttechnik-sued.de
UMWELTSCHUTZ NORD Kompostsysteme GmbH&CoKG Industriepark 6 27777 Ganderkesee	04222-47-0 04222-47208 info@u-nord.com www.u-nord.com
Vogelsang GmbH Holthöge 10-14 49632 Essen/Ol.	05434/1018 543472420 info@vogelsang-gmbh.com www.vogelsang-gmbh.com
WELtec Biopower GmbH Amersbuscher Straße 29 49424 Lutten	04441-999780 04441-999788 info@weltec-biopower.de www.weltec-biopower.de
WISA Umweltschutz GmbH Lindenstraße 17a 39606 Iden	039390-82000 039341-50163 BiogasWisa@aol.com www.wisa-biogas.de

BHKW-Hersteller

2 G Energietechnik Markt 7 48619 Heek	02568-96033 02568-96035 service@2genergietechnik.de www.2genergietechnik.de
Dreyer&Bosse Kraftwerke Springstraße 20 29471 Gartow	05846/2220
Jenbacher Energiesysteme GmbH Amselstraße 28 68307 Mannheim	0621/77094-0 0621/77094-70 contact@jenbacher.com

Johann Hochreiter	08622/366 08622/1453
Steinau 1 83530 Schnaitsee	
MWB Motorenwerke Bremerhaven AG	0471-9450-231 0471-9450-230
Barkhausenstraße 25768 Bremerhaven	www.mbw-bremerhaven.de
OSMO-Anlagenbau GmbH&CoKG	05401-858-0 05401-858-112
Bielefelder Straße 10 49124 Georgsmarienhütte	info@osmo-anlagenbau.com www.osmo-anlagenbau.com
Schnell Biogasanlagenbau Schattbucher Straße 11 88279 Amtzell	07520/956230 07520/5388 HJSBIOGAS@aol.com
SEVA ENERGIE AG	04435-93090 04435-9309-10
Lether Gewerbestraße 10 26197 Ahlhorn	info@seva.de www.seva.de
SOKRATHERM GmbH Energie und Wärmetechnik	05221/96210 05221/66063
Milchstraße 12 32120 Hiddenhausen	
TEWE-Elektronik GmbH&CoKG	02564-9355-0 02564-33715
Karl-Benz-Straße 17 48691 Vreden	infi@tewe.com www.tewe.com