

KATALYSE e.V.

Remigiusstraße 21

50937 Köln

Tel.: +49-221-94 40 48-0

Fax: +49-221-94 40 48-9

E-Mail: info@katalyse.de

www.katalyse.de



Vorstand:

Rolf Buschmann

Regine Rehaag

Svend Ulmer

Frank Waskow

Möglichkeiten und Vorgehensweisen eines ökobilanziellen Vergleichs von Kofermentationen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Im Auftrag des

Ministerium für Umwelt, Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

Institut für angewandte Umweltforschung

KATALYSE

Möglichkeiten und Vorgehensweisen eines ökobilanziellen Vergleichs von Kofermentationen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Im Auftrag des

**Ministerium für Umwelt, Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**

Projektleitung:

Dipl. oec. troph. Frank Waskow

Bearbeitung:

Dr. Martin Engelbert, Dipl. Biologe

Svend Ulmer, Dipl. Biologe

KATALYSE Institut für angewandte Umweltforschung

Remigiusstr. 21

50937 Köln

Dezember 2000

im Februar 2001 durchgesehene Version

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
GLOSSAR	7
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	9
1 AUFGABENSTELLUNG	10
1.1 Stand der Biogasnutzung in Deutschland und NRW	13
2 VERFAHREN UND TECHNIK	16
2.1 Anaerobe Vergärung	17
2.1.1 Ab- und Umbau der organischen Substanz	17
2.1.2 Ansprüche an das Grundsubstrat	19
2.2 Kofermente und Biogas-Erzeugung	20
2.2.1 Herkunft der Kofermente	20
2.2.2 Belastungsgrenzen des Vergärungsprozesses	21
2.2.3 Steigerung der Biogasausbeute durch Zugabe von Kofermenten	22
2.2.4 Anforderungen an die Hygiene und Schadstoffbelastungen	24
2.3 Die Elemente einer Kofermentationsanlagen	25
2.3.1 Aufbereitung und Vorbehandlung	25
2.3.2 Vergärungsverfahren und Temperaturoptima	26
2.3.3 Verweildauer der Gärsubstrate	27
2.3.4 Fermentertypen	27
2.3.5 Ein- und zweistufige Prozessführung	28
2.3.6 Gasspeicherung, Gasreinigung und Gasqualität	29
2.4 Energiebilanz und Emissionen von Kofermentationsanlagen	30
2.5 Blockheizkraftwerk	30
2.6 Lagerung der Gärreste	31
2.7 Abwasserfreie Verwertung der Gärreste	31
2.8 Klimabilanz	33
3 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN UND GENEHMIGUNGS- VERFAHREN	35
3.1 Abfallrecht	36
3.1.1 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	36
3.1.2 Klärschlammverordnung	36
3.1.3 Biomasseverordnung	36
3.1.4 Bioabfallverordnung	37
3.2 Düngemittelrecht	37
3.2.1 Düngemittelgesetz	38
3.2.2 Düngeverordnung	38
3.2.3 Düngemittelverordnung	38
3.3 Weitere Regelungen	39
3.3.1 Bundes-Immissionsschutzgesetz	39
3.3.2 Tierkörperbeseitigungsgesetz	41
3.3.3 Abwasserrecht	41

3.4	Abfallrecht versus Düngemittelrecht	41
3.4.1	Ziele der BioAbfV und der DüMV	41
3.4.2	Unterschiede bei der Zulassung	42
3.4.3	Ausnahmeregelungen	42
3.4.4	Beschränkung der zur Vergärung zugelassenen Kofermente	43
3.5	Anforderungen an die Prozessführung und Hygiene	44
3.5.1	Genehmigungsvorgaben: Direkte Prozessprüfung	44
3.5.2	Forschungsergebnisse	46
3.5.3	Tierische Abfälle	47
3.6	Schwermetallgehalte von Kofermenten und Wirtschaftsdünger	48
3.6.1	Schwermetall-Belastungen von Kofermenten	51
3.6.2	Ausnahmeregelungen für belastete Wirtschaftsdünger	54
3.6.3	Unterschiedliche Grenzwerte in der BioAbfV und der AbfKlärV	54
3.7	Nährstoffgehalte von Kofermenten und Wirtschaftsdüngern	55
3.8	Ablaufschema zur Genehmigung von Kofermenten	58
4	ÖKONOMISCHE SITUATION UND WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG	60
4.1	Einleitung	60
4.2	Klimaschutz und die Förderung regenerativer Energien	60
4.3	Vergleich aktueller Wirtschaftlichkeitsberechnungen	62
4.3.1	Wirtschaftlichkeitsberechnungen: Quellen und Datengrundlagen	63
4.3.2	Die Positionen des Wirtschaftlichkeitsvergleichs	64
4.3.3	Der Wirtschaftlichkeitsvergleich von Monogülle- und Kofermentationsanlagen	69
4.3.4	Übersicht der Hintergrund-Daten	72
4.3.5	Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	73
4.4	Das Biogas-Potenzial für Nordrhein-Westfalen	78
4.5	Empfehlungen für die Hauptstudie	80
5	VORGEHENSWEISE FÜR EINEN ÖKOBILANZIELLEN VERGLEICH	81
5.1	Methodik für einen ökobilanziellen Vergleich von Kofermenten	81
5.2	Bilanzraum und Systemgrenzen	82
5.3	Auswahl der Kofermente	83
5.4	Varianten eines ökobilanziellen Vergleichs von Kofermentationen	86
5.5	Variante A: Vergleich auf Basis einer Modell-Biogasanlage	86
5.5.1	Definition einer Modell-Biogasanlage	86
5.5.2	Datenblatt: Modell-Biogasanlage	87
5.5.3	Beurteilung der Datenlage	89
5.5.3.1	Transport der Kofermente	89
5.5.3.2	Grundsubstrat Wirtschaftsdünger und eingesetzte Kofermente	89
5.5.3.3	Der Biogasprozess	91
5.5.3.4	Gasertrag, -reinigung und -qualität	92
5.5.3.5	Betrieb des Blockheizkraftwerkes (BHKW)	92
5.5.3.6	Die Energiebilanz der Biogasanlage	93
5.5.3.7	Die Gärrestelagerung/Nachgärung	93
5.5.3.8	Ausbringung und Verwertung der Gärreste	94
5.5.4	Übersicht über die ökologischen Parameter	95
5.5.5	Bewertung der Datenlage Variante A	96

5.5.5.1	Datenqualität	100
5.5.5.2	Datenlücken	100
5.6	Variante B: Datenerhebung an einer Praxisanlage und Erstellung eines ökobilanziellen Vergleich	102
5.7	Software-Tools für den ökologischen und ökonomischen Vergleich	105
5.7.1	EXCEL-und ACCESS-Lösung	106
5.8	Zusammenfassung und Empfehlungen	107
6	ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN	109
6.1	Verfahren und Technik	109
6.2	Rechtliche Situation und Genehmigung	111
6.3	Wirtschaftlichkeitsberechnung von Kofermentationsanlagen	112
6.4	Vorgehensweise für einen ökobilanziellen Vergleich	113
6.5	Software-Tools für den ökologischen und ökonomischen Vergleich	115
	QUELLEN	116
	AUSGEWERTETE LITERATUR	122
	ÜBERSICHT ÜBER LAUFENDE UND ABGESCHLOSSENE PROJEKTE ZUR KOFERMENTATION	126
	ANLAGE 1	128
	ANLAGE 2	129
	ANLAGE 3	130
	ANLAGE 4	131
	ANLAGE 5	132
	ANLAGE 6	133
	ANLAGE 7	134
	ANLAGE 8	135

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Zahl der geförderten Biogasanlagen und Gesamt-Fördersumme je Bundesland	14
Abbildung 2:	Standorte landwirtschaftlicher Biogasanlagen	15
Abbildung 3:	Schema einer Kofermentationsanlage	16
Abbildung 5:	Abbau organischer Trockensubstanz und Gasausbeute von Rindergülle und Speiseabfall	18
Abbildung 6:	Ergebnisse von Fettabbau-Versuchen in Biogasanlagen	18
Abbildung 7:	Frischmasse- und Gaserträge ausgewählter Energiepflanzen und Feldfrüchte	20
Abbildung 8:	Gasausbeute und Biogasgehalt	22
Abbildung 9:	Hemmfaktoren der Methangärung	23
Abbildung 10:	Gasausbeuten und Erträge durch Kofermentation	25
Abbildung 11:	Aufbereitung von Kofermenten	25
Abbildung 12:	Temperaturbereiche der Prozessführung	27
Abbildung 13:	Nährstoffgehalte verschiedener Substrate und Kofermente	32
Abbildung 14:	CO ₂ -Einsparung durch Biogasstrom	34
Abbildung 15:	Durchführung der hygienischen Überprüfung von Klein-Anaerobanlagen	45
Abbildung 16:	Maximal zulässige Schwermetallkonzentrationen für Bioabfälle	49
Abbildung 17:	Prüfumfang für Gärprodukte	49
Abbildung 18:	Prüfumfang für Wirtschaftsdünger	50
Abbildung 19:	Maximal zulässige Schwermetallkonzentrationen im Boden	50
Abbildung 20:	Schwermetallgehalte von Kofermenten I	52
Abbildung 21:	Schwermetallgehalte von Kofermenten II	53
Abbildung 22:	Vergleich der jährlichen Frachten für Schwermetalle	55
Abbildung 23:	Bandbreiten der Nährstoffgehalte von Kofermenten aus LUFA-Untersuchungen	56
Abbildung 24:	Ablaufschema: Abschätzung der Genehmigungsfähigkeit von Bioabfällen	58
Abbildung 25:	Vergleich von Wirtschaftlichkeitberechnungen	69
Abbildung 26:	Hintergrund-Daten und Annahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung	72
Abbildung 27:	Wirtschaftlicher Vergleich der Vergärung von Gülle gegenüber Energiepflanzen	74
Abbildung 28:	Wirtschaftlicher Vergleich von Kofermentation mit Fetten und Speiseabfällen	75
Abbildung 29:	Wirtschaftlicher Vergleich von kleinen, einzelbetrieblichen Kofermentationsanlagen	76
Abbildung 30:	Gemeinschafts-Kofermentationsanlagen unter Kofermentation von 10 % Fetten	77
Abbildung 31:	Faktoren, die sich auf die Wirtschaftlichkeit auswirken	77
Abbildung 32:	Zahl der Betriebe mit größeren Tierbeständen	79
Abbildung 33:	Zahl der Betriebe und ihre landwirtschaftliche Fläche in NRW	79
Abbildung 34:	Übersicht über die zu betrachtenden Stoff- und Energieströme	84
Abbildung 35:	Übersicht über die Systemgrenzen	85
Abbildung 36:	Darstellung der verfügbaren Daten	96
Abbildung 37:	Verfügbare Daten und Eignung für einen ökobilanziellen Vergleich	97
Abbildung 38:	Biogas-Großanlagen in Deutschland	128
Abbildung 39:	Dungwert von Gärresten	129
Abbildung 40:	Ertrag und Deckungsbeitrag von Ganzpflanzen-Silagemais mit verschiedenen BHKWs	130
Abbildung 41:	Deckungsbeiträge bei der Vergärung von Silomais und Corn-Cob-Mix	131
Abbildung 42:	Berechnung der Betriebskosten bei 100 GV-Anlagen	132
Abbildung 43:	Berechnung der Betriebskosten der KATALYSE-Varianten	133
Abbildung 44:	Berechnung der Betriebskosten für Großanlagen	134
Abbildung 45:	Berechnung der Betriebskosten für 50 GV-Anlagen	135
Abbildung 46:	Datenbasis für Schwermetallgehalte von Substraten und Kofermenten	136

Zusammenfassung

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat die Rahmenbedingungen für den Betrieb von Biogasanlagen grundlegend verbessert. Derzeit sind in NRW etwa 40 Biogasanlagen in Betrieb, 20 befinden sich im Genehmigungsverfahren, weitere 20 in der Planung. NRW besitzt ein beachtliches Potenzial zur Realisierung von Biogasanlagen mit Kofermentation; selbst bei konservativer Schätzung ist der Betrieb von rund 400 Biogasanlagen möglich.

Seit einigen Jahren befindet sich die Kofermentation von organischen Rest- und Abfallstoffen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Diskussion. Neben der gesetzeskonformen und stofflichen Eignung stellt sich die Frage, ob die Kofermentation von organischen Abfällen unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten sinnvoll ist, da mit der Kofermentation auch Störstoffe, Schadstoffe und Krankheitserreger in den Biogasprozess und auf die pflanzenbaulich genutzten Flächen gelangen können. Der Schutz von Umwelt und Gesundheit muss aber auch unter den veränderten Verwertungsmöglichkeiten organischer Abfälle gewahrt werden. Die Kofermentation von biogenen Abfällen ist allerdings auch unter ökonomischen Gesichtspunkten beim Betrieb und der Planung neuer Anlagen ein wichtiger Faktor.

Als Ergebnis einer umfassenden Recherche liegt ein Datenpool vor, mit dem ein Vergleich von Modellrechnungen zur Wirtschaftlichkeit von Monovergärungs- und Kofermentationsanlagen angefertigt wurde. Danach können auch kleinere Biogasanlagen ab 50 Großvieheinheiten (GV) durch Zusatz von Kofermenten gewinnbringend arbeiten. Die Monovergärung von Gülle ist dagegen betriebswirtschaftlich inzwischen weitgehend uninteressant, da im Vergleich zur Kofermentation meist nur eine Kostendeckung erzielt wird. Auch die Kofermentation von Energiepflanzen kann wirtschaftlich betrieben werden, außerdem bietet sie wegen ihrer geringen Schadstoffbelastung, der Nährstoffsituation und ihrem genehmigungsfreien Einsatz vielversprechende Chancen in Konkurrenz zu organischen Abfällen.

Zur Durchführung eines dezidierten ökonomischen Vergleichs verschiedener Kofermente in landwirtschaftlichen Biogasanlagen liegen ausreichend belastbare Daten vor. Je nach Finanzumfang können in der Hauptstudie eine oder mehrere Fallstudien durchgeführt werden.

Ein ökobilanzieller Vergleich verschiedener Kofermente auf der *Grundlage von Literaturdaten* ist möglich. Hierzu soll eine „theoretische“, möglichst repräsentative Modell-Biogasanlage als Basis definiert werden, die den Stand der Technik repräsentiert und die Praxis der Betriebsführung von Kofermentationsanlagen erfasst. Ein detaillierter Vorschlag zur Definition einer solchen Modellanlage wurde im Rahmen dieser Studie erarbeitet.

Da kein kompletter und konsistenter Datensatz von landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit Kofermentation existiert, kann für einen ökobilanziellen Vergleich derzeit nur eine Sammlung von Daten aus unterschiedlichen Quellen herangezogen werden. Eine Bewertung der Dateneignung für den ökobilanziellen Vergleich wurde im Rahmen der Studie vorgenommen. Herkunft und Güte der Daten reichen für eine grobe ökologische Charakterisierung von Kofermenten (z.B. für die Bildung einer ökologischen-ökonomischen Rangfolge) im Rahmen eines ökobilanziellen Vergleichs aus.

Um die Fehlerquellen des ökologischen Vergleichs auf der Grundlage von Literaturdaten zu verringern und die Belastbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde seitens des Auftragnehmers eine zweite Arbeitsvariante zur Erstellung eines ökologischen-ökonomischen Vergleichs entwickelt. Diese Variante sieht eine vollständige Erhebung von konsistenten Datensätzen an einer Praxis-Kofermentationsanlage vor. Mit Hilfe eines Mess- und Begleitprogramms können die bestehenden Daten-Unsicherheiten ausgeräumt und Lücken geschlossen werden. Für das Mess- und Erhebungsprogramm wurden die notwendigen Aufgabenbereiche definiert.

Die Datenerhebung an einer Praxis-Biogasanlage nimmt allerdings relativ viel Zeit in Anspruch (schätzungsweise 1 Jahr), v.a. wenn mit Hilfe von Ertragsuntersuchungen der landwirtschaftlichen Produkte eine Untersuchung der Düngewirkung der Gärreste vorgenommen wird. Eine umfassende Datenerhebung an einer Praxisanlage könnte im vom Umweltministerium im kommenden Jahr geförderten Projekt "Biogas Rheinland" vorgenommen werden, da vom Agrikulturchemischen Institut der Universität Bonn umfassende Untersuchungen zu Gärresten und möglichen Klimawirkungen bei der Kofermentation angestellt werden.

KATALYSE Institut für angewandte Umweltforschung, Köln

Frank Waskow, Projektleiter

14. Dezember 2000

Glossar

Aerob: In Gegenwart von Sauerstoff.

Anaerob: In Abwesenheit von Sauerstoff.

Ammonium: NH_3 ; stickstoffhaltiges Gas. Entsteht u.a. aus Ammonium in wässriger Lösung. Je höher der pH-Wert und die Temperatur einer Lösung ist, um so mehr Ammonium wandelt sich in Ammoniak um.

Anaerobbehandlung: Methangärung von Lösungen und Aufschwemmungen organischer Stoffe unter Luftabschluss mit dem Ziel, die Eigenschaften der eingesetzten Stoffe zu verbessern und Biogas zu gewinnen.

Biogas: Gas, das bei der Methangärung gebildet wird. Besteht aus 50-75 % Methan, 35-40 Prozent Kohlendioxid und geringen Konzentrationen an Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Wasserstoff und Wasserdampf. Der Methangehalt liegt durchschnittlich bei etwa 60 Prozent. Der Energiegehalt von Biogas beträgt ca. 6 kWh/m³.

Blockheizkraftwerk (BHKW): Diesel- oder Ottomotor, dessen mechanische Energie für die Erzeugung von Strom und dessen Abwärme für Beheizungszwecke genutzt wird.

Corn-Cob-Mix (CCM): Ist die amerikanische Bezeichnung für ein durch Silierung konserviertes Mais-Spindel-Gemisch (Mischung, in der ganze Kolben der Maispflanze verwertet werden). Dadurch kann auch Erntegut mit einem höheren Wassergehalt im Korn (noch nicht ausgereifter Mais) geerntet und weiterverarbeitet bzw. als Silage gelagert werden. CCM ist ein vollwertiges Grundfutter in der Rinder- und Schweinemast.

CH₄: Methan, brennbarer Anteil im Biogas. Der Energiegehalt von Methan beträgt etwa 9,75 kWh/m³.

C/N-Verhältnis: Verhältnis der Kohlenstoff- und Stickstoffmenge. Das C/N Verhältnis im zu vergärenden Substrat ist für einen optimalen Gärprozess wichtig (ideal: 13-30) Das C/N-Verhältnis in den Gärresten erlaubt Aussagen über die Stickstoff-Verfügbarkeit bei der Düngung (ideal ca. 13).

Denitrifikation: Bildung von gasförmigen Stickstoff aus Nitrat durch Bakterien. Führt bei hohem Gehalt an organischen Stoffen und Nitrat im Boden zu erheblichen Stickstoffverlusten.

Dungeinheit: Die Menge an Nährstoffen, die von einer GV pro Jahr ausgeschieden wird.

Fermenter: gleichbedeutend mit Reaktor und Faulbehälter.

Gasausbeute: Gasproduktion pro zugeführter Stoffmenge (z.B. m³ Methan pro kg oTS_{zu}).

Gärsubstrat:: im Fermenter gärendes Substrat, in Kofermentationsanlagen bestehend aus Grundsubstrat (Wirtschaftsdünger) und Kofermenten.

Gärrückstand: vergorenes Substrat aus einer Kofermentationsanlage, welches landwirtschaftlich verwertet werden kann.

Großvieheinheit (GV): Eine Großvieheinheit entspricht 500 kg Lebendgewicht. Davon abgeleitet entsprechen Kühe und Rinder über 2 Jahren 1,2 GV, Rinder von 1-2 Jahren 0,7 GV, Sauen und Ferkel von 10 – 20 kg 0,5 GV und Legehennen mit einem Durchschnitt von 2 kg 0,004 GV.

Grundsubstrate: Wirtschaftsdünger; hier sind v.a. die verschiedenen Güllearten gemeint.

Hydrolyse: Verflüssigung; erster Reaktionsschritt bei der Methangärung. Langkettige, unlösliche Stoffe werden in kleine, wasserlösliche Stücke zerlegt.

Hygenisierung: Entkeimung durch Erhitzung (hier meist Pasteurisierung bei 70 °C).

Kraft-Wärme-Kopplung: gleichzeitige Produktion von mechanischer Energie (zum Antrieb eines Generators) und Nutzbarmachung der Abwärme.

Kofermentation (syn. Kofermentation): Gemeinsame Vergärung von Wirtschaftsdüngern und Kofermenten.

Kofermente (syn.: Kosubstrat): Organische Rest- und Abfallstoffe, landwirtschaftliche Reststoffe und Biomasse zur Kofermentation mit Wirtschaftsdüngern zur Steigerung der Biogausbeute.

Mesophil: Mittlerer Temperaturbereich für den Betrieb von Biogasanlagen, ca. 25-40 °C.

oTS: Organische Trockensubstanz, Maß für den Gehalt an organischen Substanzen in einem Stoff. Wird ermittelt durch Trocknen (105 °C, 24 h) und anschließendem Glühen bei 600 °C einer Probe, wobei sich die organischen Anteile verflüchtigen.

Psychrophil: unterer Temperaturbereich für den Gärprozess in einer Biogasanlage, meist Umgebungstemperatur.

Raumbelastung: Beschickungsmenge an vergärbarem Substrat (z.B. gemessen als oTS) bezogen auf das Fermentervolumen.

Substrat: gesamtes Beschickungsmaterial (hier: Wirtschaftsdünger + Kofermente).

Thermophil: oberer Temperaturbereich für den Betrieb von Biogasanlagen, ca. 50 – 75 °C.

TS: Trockensubstanz; nach durchgehender Trocknung eines Materials oder einer Suspension verbleibender Anteil.

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BHKW	Blockheizkraftwerk
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
°C	Grad Celsius
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
BLE	Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung, Frankfurt/Main
d	Tag
EAK	Europäischer Abfallkatalog
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
g	Gramm
GLP	Gute Landwirtschaftliche Praxis
kg	Kilogramm
GV	Großvieheinheit(en)
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
h	Stunde
ha	Hektar
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
l	Liter
m	Meter
m ³	Kubikmeter
mg	Milligramm
N	Stickstoff
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
oTS	organische Trockensubstanz
TS	Trockensubstanz
P	Phosphor
ppm	Parts per million

1 Aufgabenstellung

Mit dem Erlass der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) am 14. Mai 1993 dürfen spätestens zum Jahre 2005 organische Abfälle nicht mehr deponiert werden, sondern müssen einer Verwertung oder Behandlung zugeführt werden. Hierdurch werden die Abfallströme organischer Abfälle neu geordnet. Neben der bereits seit Jahren etablierten Kompostierung setzt sich zunehmend die Vergärung als weitere Verwertungsmöglichkeit durch. Im wesentlichen bestehen drei Möglichkeiten organische Abfälle einer Verwertung durch Vergärung zu zuführen:

- Biogasanlagen in der Landwirtschaft
- Spezielle Vergärungsanlagen für Bioabfall aus Kommunen
- Faulbehälter von Kläranlagen

Der überwiegende Teil der Gärreste aller drei Vergärungsvarianten wird in der Landwirtschaft, dem Garten- und Landschaftsbau als Dünger oder Bodenverbesserer eingesetzt. Für landwirtschaftliche Biogasanlagen ergeben sich mit der Verwertung von organischen Abfällen durch Kofermentation neue Perspektiven. Der Einsatz von außerlandwirtschaftlichen Kofermenten in Biogasanlagen kann je nach Art und Menge des Koferments die Biogasausbeute und damit die Stromerzeugung mehr oder weniger deutlich erhöhen und damit die Wirtschaftlichkeit der Anlagen verbessern. Einnahmen aus Entsorgungserlösen organischer Abfälle bieten einen zusätzlichen Anreiz. Mit den Fördermaßnahmen der Bundesregierung und dem seit 1. April 2000 geltenden Erneuerbare-Energien-Gesetz haben sich die Rahmenbedingungen für den Betrieb bestehender Anlagen und die Planung und Realisierung neuer Anlagen noch einmal verbessert. Für Biogasanlagen in der Landwirtschaft ergibt sich daraus insgesamt ein neuer Planungsansatz, da eine verbesserte Rentabilität die Investitionsentscheidungen unter neue Vorzeichen stellt.

Die Vorteile und Nachteile der seit Jahrzehnten praktizierten Monovergärung von Gülle sind bekannt. Biogasanlagen leisten einen Beitrag zum Schutz des Klimas, da sie diffuse Methan- und Ammoniak-Emissionen reduzieren und fossile Brennstoffe substituieren. Die Geruchsproblematik von frischer Gülle wird weitestgehend entschärft, die vergorene Gülle wird deutlich keimreduziert und die Nährstoffe der behandelten Gülle sind besser pflanzenverfügbar als die von Frischgülle, wodurch bei gleichen Erträgen Mineraldünger eingespart werden kann. Die meist fehlende Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen konnte aber auch nicht durch die Senkung der betrieblichen Energiekosten durch Eigennutzung kompensiert werden und war bisher das größte Hemmnis bei der Verbreitung der Biogastechnologie in der Landwirtschaft.

Kofermentation

Kofermentation ist im weitesten Sinne die gemeinsame anaerobe Behandlung (Vergärung) von flüssigen Substanzen (Gülle, Klärschlamm usw.) mit festen biologischen Abfallstoffen (Biomüll, Fette, Schlachtabfälle u.a.). Im engeren Sinne bedeutet Kofermentation in der Landwirtschaft die Vergärung von Wirtschaftsdünger (u.a. Gülle, Festmist) zusammen mit landwirtschaftlichen, gewerblichen, agroindustriellen oder kommunalen biogenen Abfällen zur Gewinnung von Biogas. Die Kofermentation hat zum Ziel, die Gasausbeute der Monovergärung von Gülle durch Zugabe von Kofermenten zu erhöhen und die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen zu verbessern.

Seit rund fünf Jahren befindet sich die Kofermentation von organischen Rest- und Abfallstoffen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Diskussion. Neben der gesetzeskonformen und stofflichen Eignung stellt sich die Frage, ob die Kofermentation von organischen Abfällen unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten sinnvoll ist. Mit der Kofermentation können Störstoffe, Schadstoffe und Krankheitserreger aber auch zusätzliche Nährstoffe in den Biogasprozess und anschließend auf die pflanzenbaulich genutzten Flächen gelangen. Der Schutz von Mensch, Tier und Umwelt muss auch unter den veränderten Einsatzmöglichkeiten organischer Abfälle gewahrt werden. Dies gilt im besonderem Maße für Kofermentationsanlagen auf tierhaltenden Betrieben, da hier hinsichtlich der Hygiene- und Seuchenproblematik besondere Sorgfalt geübt werden muss.

Vor diesem Hintergrund hat im Sommer 2000 das Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen das KATALYSE Institut mit der Vorstudie „Möglichkeiten und Vorgehensweisen eines ökobilanziellen Vergleichs von Kofermentationen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen“ beauftragt.

Aus dem Zielkonflikt zwischen einer wirtschaftlichen Verwertung organischer Abfälle und dem Schutz von Mensch, Tier und Umwelt ergibt sich die aktuelle Problematik der Genehmigung von Kofermentationsanlagen und organischen Rest- und Abfallstoffen zur Vergärung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Hieraus leiten sich u.a. wichtige Fragen ab:

- Welche Kofermente sind für landwirtschaftliche Biogasanlagen und die Verwertung auf landwirtschaftlichen Flächen grundsätzlich geeignet?
- Welche Bedingungen und Vorschriften müssen die Landwirte bei der Zulassung bestimmter Kofermente einhalten?
- Welche rechtlichen Rahmenbedingungen müssen speziell auf die landwirtschaftliche Kofermentation unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und des Gesundheits- und Umweltschutzes angepasst werden?

- Welche Kofermente bringen dem Anlagenbetreiber ökonomische Vorteile und welche nicht?
- Kann der Einsatz von Energiepflanzen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen eine Alternative zum Einsatz von organischen Abfällen sein?

Die Aufgabenstellung der Studie beinhaltet die Möglichkeiten und Vorgehensweisen für einen ökologischen und ökonomischen Vergleich des Einsatzes von außerlandwirtschaftlichen Kofermenten. Hierzu wurden folgende Hauptaufgaben definiert:

- Recherche der grundlegenden Basisinformationen zur Kofermentation in der Landwirtschaft einschließlich der aktuellen Genehmigungspraxis
- Erhebung der verfügbaren Daten zur Kofermentation sowie Bewertung der Eignung und Qualität und Identifizierung von relevanten Datenlücken
- Darstellung von Vorgehensweisen und Entwicklung eines Arbeitsmodelles für einen öko-bilanziellen Vergleich
- Empfehlungen für eine mögliche Hauptstudie

Die Arbeiten wurden mit einer umfassenden Literaturrecherche begonnen, deren Ergebnisse in diese Studie eingeflossen sind. In Gesprächen und Intensivinterviews mit Fachleuten aus den Bereichen Forschung, Landwirtschaft und Anlagenbau sowie Anlagenbetreibern wurden die verfügbaren Datenbestände detailliert und kritisch diskutiert, die derzeitige Situation, Rahmenbedingungen der Kofermentation von Stoffen außerlandwirtschaftlichen Ursprungs bewertet und Konzepte für einen ökologischen und ökonomischen Vergleich des Einsatzes von außerlandwirtschaftlichen Kofermenten hinterfragt.

1.1 Stand der Biogasnutzung in Deutschland und NRW

Im Herbst 2000 existierten in Deutschland rund 800 landwirtschaftliche Biogasanlagen. Zu Beginn des Jahres 2001 wird die Inbetriebnahme der tausendsten Biogasanlage in Deutschland erwartet. 1999 gab es 27 größere Kofermentationsanlagen, in den letzten fünf Jahren sind 14 Groß-Kofermentationsanlagen (vgl. Anlage 1) mit einem Fermentervolumen von bis zu 4.000 m³ als Gemeinschaftsanlagen verschiedener Landwirte oder als regional zentralisierte Vergärungsanlagen kommerzieller Betreiber errichtet worden.

In Nordrhein-Westfalen sind derzeit etwa 40 Biogasanlagen in Betrieb, 20 befinden sich im Genehmigungsverfahren, weitere 20 in der Planung (FB BIOGAS 2000A/HANNEN 2000). Besonders die großen Viehhaltungsbetriebe in Nordrhein-Westfalen haben bisher relativ wenig Engagement im Bereich Biogaserzeugung gezeigt.

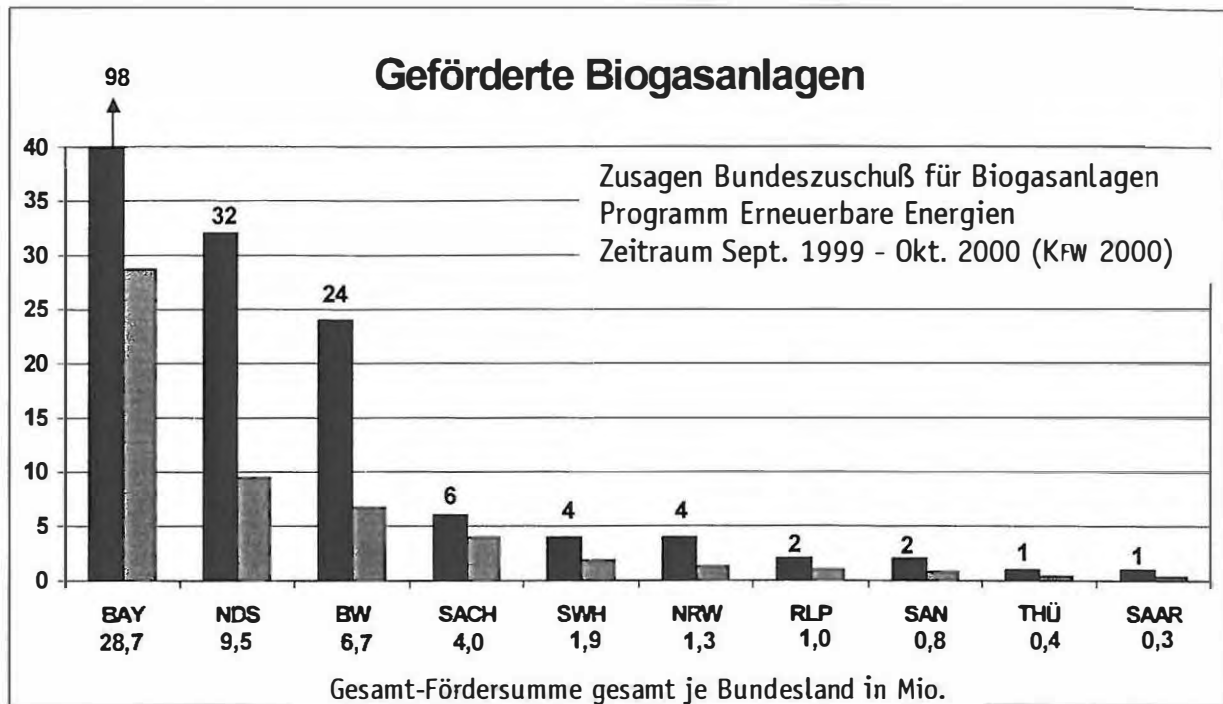
Stadtwerke als Biogas-Investoren?

Neben vielen Landwirten prüfen derzeit auch einige Stadtwerke (z.B. die Gas-, Elektrizitäts- und Wasserwerke Köln AG) in Nordrhein-Westfalen, ob sie sich mit ihren Einnahmen aus dem Verkauf von Grünem Strom im Biogasbereich engagieren sollen. Die geplanten Modelle sehen ein Kooperationsmodell zwischen der Landwirtschaft und lokalen Energieversorgern vor: Dabei investiert der Energieversorger in eine neue Biogasanlage und der Betreiber (z.T. Landwirte aus dem ökologischen Landbau) gewährleistet die ökologische Stromerzeugung aus Biogas. Der mögliche Gewinn, den die Energieversorger erzielen, wird in neue Anlagen für Regenerative Energien investiert (GEW 2000).

Das theoretische Potenzial der Biogaserzeugung in Deutschland aus vergärbaren organischen Reststoffen der Landwirtschaft, Biomasse aus Stilllegungsflächen, Bioabfällen und Grüngut aus Kommunen sowie Abfällen aus der Lebensmittelindustrie beträgt rund 8,5 Mrd. m³ Biogas, das in der Energiegewinnung den Heizenergiebedarf von 1,5 Mio. Haushalten und den Bedarf an elektrischem Strom von rund 4 Mio. Haushalten (oder der Leistung von zwei Kernkraftwerken) entspricht. Nach Aussagen des Fachverbands Biogas e.V. liegt das Gesamtpotenzial der deutschen Landwirtschaft bei rund 100.000 Biogasanlagen und einer Energieerzeugung von 17 Mrd. kWh Strom und 52 Mrd. kWh Heizenergie. Ältere Schätzungen sprechen gar von 220.000 Einzelhof- und Gemeinschaftsanlagen.

Die positive Entwicklung der Rahmenbedingungen für den Bau und Betrieb von landwirtschaftlichen Biogasanlagen hat der Investitionsbereitschaft der Landwirte einen starken Aufschwung gegeben. Seit dem Start des Bundesförderprogramms (Marktanreizprogramm Erneuerbare Energien) im September 1999 sind für Biogasanlagen Fördermittel in Höhe von insgesamt fast 55 Mio. DM für 174 Anlagen bewilligt worden (Stand: 20. Oktober 2000). Der Anteil Nordrhein-Westfalens daran fällt bescheiden aus und umfasst lediglich vier Biogasanlagen mit einer Gesamtfördersumme von rund 1,3 Mio. DM (KfW 2000).

Abbildung 1: Zahl der geförderten Biogasanlagen und Gesamt-Fördersumme je Bundesland



Innerhalb von gut drei Jahren hat sich der bundesweite Bestand an Biogasanlagen nahezu verdoppelt. Die Schwerpunkte der Biogasnutzung liegen weiterhin in den Bundesländern Bayern (350 Anlagen), Baden-Württemberg (130 Anlagen) und Niedersachsen (75 Anlagen) (PATTEN 2000). Gemessen an den aktuellen Zahlen dürfte sich der Bestand an Biogasanlagen bis zum Auslaufen des Förderprogramms (Oktober 2002) insgesamt noch einmal bundesweit um mindestens 600-800 Anlagen erhöhen. Für Nordrhein-Westfalen würde dies sicherlich einen Zuwachs um mindestens 60 Biogasanlagen in den nächsten zwei Jahren bedeuten.

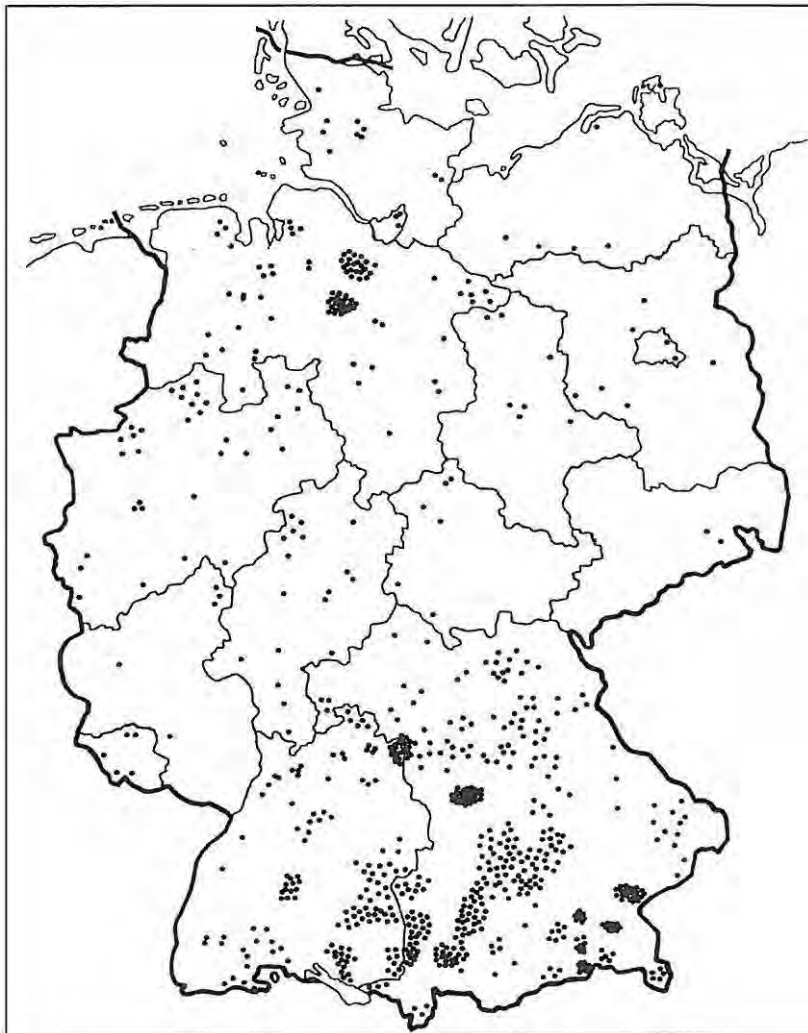
Nordrhein-Westfalen liegt mit einem Bestand von rund 40 Anlagen im Vergleich zu Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen in der Biogasnutzung zurück, obwohl gerade im tierhaltungsintensiven Münsterland und Ostwestfalen die Verfügbarkeit des Grundsubstrates Gülle sehr gut ist. Die Gründe für die geringe Zahl an Biogasanlagen in NRW sind vielfältig:

- In NRW gibt es relativ wenig qualifizierte Beratung bei Bau und Planung von Biogasanlagen, anders verhält es sich z.B. in Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen, wo die Landwirtschaftsbehörden/-ämter qualifizierte Beratung anbieten.
- Die zuständigen Genehmigungsbehörden verfügen im Gegensatz zu Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen über wenig Erfahrungen in den Genehmigungsverfahren, es liegen insgesamt wenig Informationen über Biogas-, Kofermentationsanlagen und der Kofermentation von organischen Rest- und Abfallstoffen vor. Die Unsicherheit durch das „neue“ Verfahren führt im Ergebnis zu längeren und möglicherweise restriktiveren Genehmigungsverfahren.

- Die „Mund zu Mund“-Propaganda und der „Demonstrationseffekt“ der Landwirte untereinander durch bereits vorhandene Biogasanlagen ist in Nordrhein-Westfalen bisher wenig gegeben.
- Der Fachverband Biogas ist in Baden-Württemberg, Bayern und Niedersachsen v.a. durch aktive Mitglieder sehr stark vertreten.
- Nur relativ wenige Agrarstandorte in NRW verfügen noch über die Möglichkeit zusätzliche Nährstoffe (z.B. aus organischen Abfällen) auf ihren Flächen auszubringen.

1.1 Standortverzeichnis landwirtschaftlicher Biogasanlagen in Deutschland

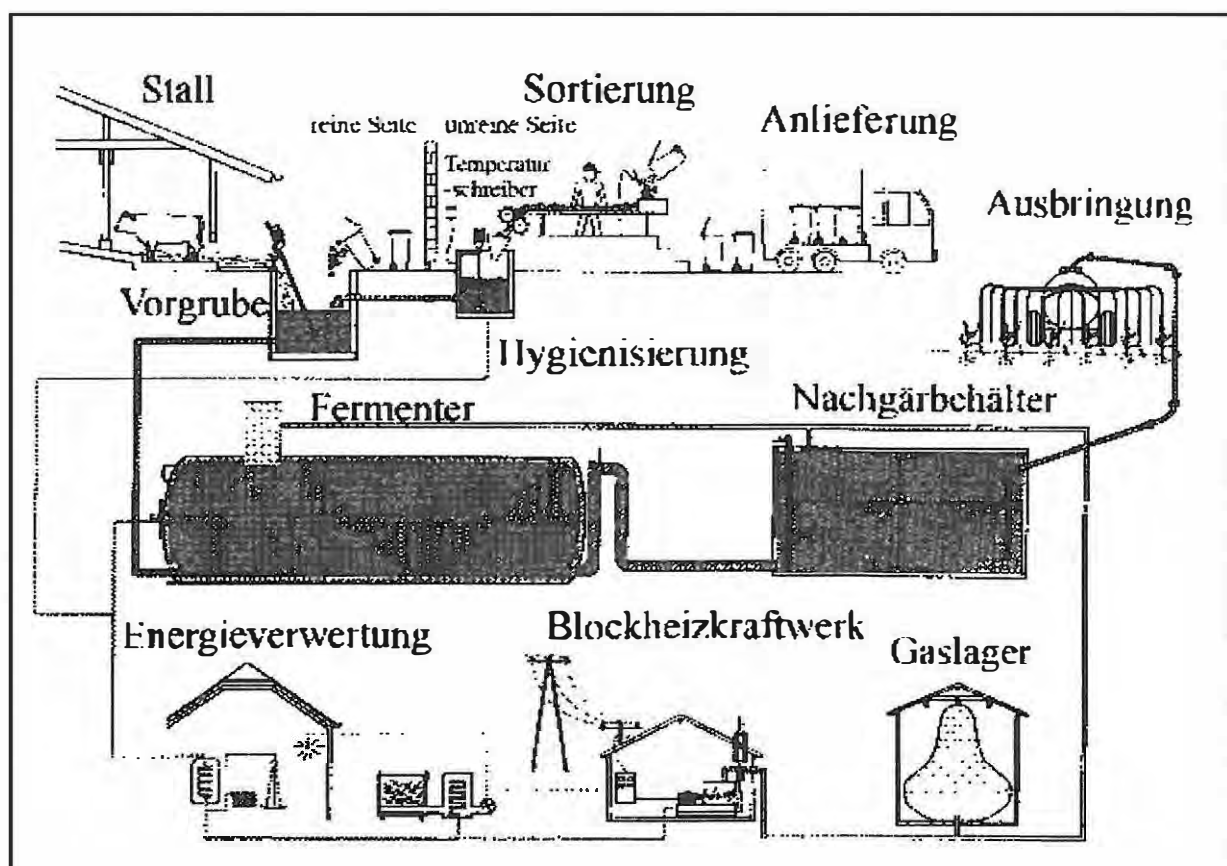
Abbildung 2: (Fachverband Biogas, Stand: August 2000)



2 Verfahren und Technik

Landwirtschaftliche Biogasanlagen sind in der Regel mit einfacher Technik ausgestattet, entsprechend gering ist daher auch ihr Automatisierungsgrad. Auch heute wird die Beschickung und auch der Betrieb des Blockheizkraftwerkes (BHKW) meist noch von Hand gesteuert. Die aktuelle Entwicklung geht jedoch in Richtung vollautomatischer Anlagen. Eine vollautomatische Dosierung der Substrate und Kofermente über eine automatisierte Beschickung bietet gewisse Vorteile für die Prozessstabilität und gewährleistet einen stabileren Biogasertrag.

Abbildung 3: Schema einer Kofermentationsanlage



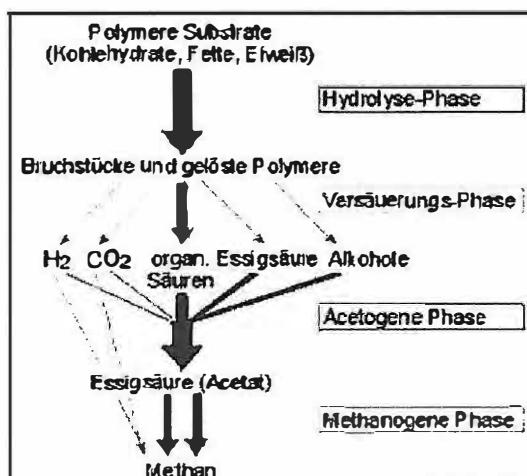
2.1 Anaerobe Vergärung

Mikroorganismen, die ohne Sauerstoff leben können (fakultativ anaerob), vergären organische Substanz ohne Sauerstoff zu benötigen. Als Sauerstoffakzeptor wird von diesen Organismen der organische Kohlenstoff genutzt. Biogas besteht deshalb bis zu 40 % aus Kohlendioxid (CO_2). Der Abbau der organischen Substanz zu Methan (CH_4) findet in mehreren Schritten statt.

2.1.1 Ab- und Umbau der organischen Substanz

In dem ersten Schritt, der Hydrolyse, spalten Bakterien hochmolekulare organische Verbindungen wie Kohlenhydrate, Proteine und Fette in kleinere Einheiten. An diesen Reaktionen sind sowohl fakultativ als auch obligat anaerobe Bakterien beteiligt. Die gebildeten niedermolekularen Verbindungen werden in der zweiten Phase, von säurebildenden Bakterien zu organischen Säuren und Alkoholen sowie zu Wasserstoff (H_2), Kohlendioxid (CO_2), Ammoniak (NH_3) und Schwefelwasserstoff (H_2S) abgebaut. Der weitere Abbau erfolgt durch acetogene (essigsäurebildende) und methanogene (methanbildende) Bakterien. Dabei stehen beide Bakteriengruppen in einem bezüglich ihrer wechselseitigen Nahrungsansprüche symbiotischen Verhältnis, sie bilden eine syntrophe (abhängige) Lebensgemeinschaft. Von den Zwischenprodukten der zweiten Phase können die Methanbakterien nur Essigsäure, H_2 und CO_2 direkt in CH_4 umsetzen. Für eine effektive Kofermentation sind von den biogenen Kofermenten folgende stofflichen Voraussetzungen mitzubringen:

Abbildung 4: *Stufen des Biogasprozesses (ÖKL 1999c)*



- Hoher Gehalt an organischen Inhaltsstoffen (oTS-Gehalt > 50 % TS)
- Abbauraten der organischen Substanz in praxisüblicher Verweilzeit (bei mesophilen Anlagen zwischen 30 und 45 Tagen) in Höhe von mind. 50 %
- Geringer Gehalt an organischen und anorganischen Schadstoffen
- Seuchenhygienische Unbedenklichkeit
- Geringer Störstoffanteil
- Geringer Anteil an Lignin/Zellulose

Einer der wichtigsten Vorgänge beim Vergärungsprozess ist der Abbau der organischen Substanz. Während Wirtschaftsdünger relativ schwer abbaubar sind, gilt dies nicht für die meisten Kofermente. Fette sind beispielsweise nach einer Verweilzeit von 30 Tagen im Fermenter fast vollständig abgebaut. Es wird diskutiert, ob durch den schnellen Fettabbau auch die Abbauleistung der Gülle zunimmt und die Gesamtabbauraten steigen. Dieser Zusammenhang wird nur vermutet, konnte aber mangels entsprechender Untersuchungen bis heute nicht

wissenschaftlich nachgewiesen werden. In Laboruntersuchungen der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen in Stuttgart wurde der Abbau organischer Trockensubstanz bei der Kofermentation von Rindergülle und Speiseabfall ermittelt:

Abbildung 5: *Abbau organischer Trockensubstanz und Gasausbeute von Rindergülle und Speiseabfall (OECHSNER 1998B)*

Temperatur Verweilzeit	Anteil Speise- abfall in %	Raumbelastung g oTS/l.d	Methangehalt in %	Abbau oTS in %
Mesophil 37 °C 30 Tage	0 25 50	1,92 3,08 4,35	59,5 57,6 k.A.	37 63 69
Thermophil 55 °C 24 Tage	0 25 50	2,34 3,84 4,42	56,4 59,0 56,3	42 66 67

An der Fachhochschule Weihenstephan wurden 1994 Fettabbauversuche an zwei Durchfluss-Biogasanlagen (60 GV + 100 GV Milchviehbetriebe) durchgeführt:

Abbildung 6: *Ergebnisse von Fettabbauversuchen in Biogasanlagen*

Parameter	Probe Abscheiderfett	Probe Vorgrube (Gülle + Fett)	Probe nach Fermenter	Probe nach Endlager
Trockensubstanz (TS) in %	23,46/--	14,13/12,91	8,42/8,15	3,59/7,17
oTS in der TS %	97,6/--	84,8/84,16	71,5/75,81	66,1/70,71
oTS %	22,88/--	11,98/10,92	6,02/6,17	2,37/5,07
PH-Wert	5,01/--	6,47/6,67	7,88/7,54	7,28/7,45
Rohfett in der TS %	68,85/--	28,3/23,9	5,75/22,1	6,7/10,2
Rohfett in der Probe %	12,72/--	4,46/3,09	0,5/1,8	0,24/0,73
Anmerkungen: Güllefett-Eigenanteil = 0,5 % 60 GV: Zugabe zu 3 m ³ Gülle etwa 0,6 m ³ Fett täglich (ca. 17 %), Verweilzeit: 27 Tage 100 GV: Zugabe zu 5 m ³ etwa 1 m ³ Fett täglich (ca. 20 %) ; Verweilzeit: 27 Tage				

Grundsätzlich ist die gesamte Abbauleistung bei der Kofermentation wesentlich höher als bei der Monovergärung von Gülle (OECHSNER 1998). Die Ergebnisse der Fachhochschule Weihenstephan zeigen, dass mindestens 50 % der gesamten organischen Trockensubstanz (oTS)

abgebaut wurde. Das zugegebene Abscheiderfett wurde sogar zu rund 90 % abgebaut. Bei einer Erhöhung der Verweilzeiten ist mit noch höheren Abbauraten zu rechnen.

Praktisch nicht anaerob abbaubar sind Lignin und Chitin. Da Zellulose und Hemizellulose oft in einer Matrix mit Lignin eingebunden ist (Schutz vor enzymatischer Hydrolyse), ist die anaerobe Abbaubarkeit dieser Verbindungen direkt vom Ligningehalt abhängig.

2.1.2 Ansprüche an das Grundsubstrat

Heute werden weniger als 30 Prozent aller landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Monovergärung mit Gülle, d.h. ohne Zusatz von Kofermenten betrieben. Die Tendenz bei der Errichtung Neuanlagen geht eindeutig hin zur Kofermentation, wie etwa die Kofermentation von Fetten und seit 1999 auch die von Energiepflanzen (Futtermais, Silomais, Corn-Cob-Mix). Rund zwei Drittel der Biogasanlagen in Deutschland werden mit Rindergülle als Grundsubstrat betrieben, 15 Prozent mit Schweinegülle und der Rest mit Geflügel- und Mischgülle (KTBL 2000).

Sowohl die Vergärbarkeit als auch die Gasausbeute von Methan hängen in erster Linie von der Zusammensetzung des Wirtschaftsdüngers, von der Art der Prozessführung und dem Grad der Zerkleinerung ab.

Die Basis der Biogaserzeugung in der Landwirtschaft bilden die Grundsubstrate Gülle, Mist und Jauche aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger). Wichtigstes Eignungskriterium der Grundsubstrate ist der Gehalt an organischer Trockensubstanz (oTS), denn diese bildet die Nahrungsgrundlage für die Bakterienstämme, die für die Gaserzeugung verantwortlich sind. Die oTS sollte zwischen 2 und 12 % liegen, unter 2 % wird keine ausreichende Gasausbeute erzielt und bei zu hohem Trockensubstanzgehalt ist das Substrat nicht mehr pumpfähig. Je nach Tierart und Fütterung variiert der Gehalt an oTS, die Eigenschaften können sogar innerhalb derselben Tierart schwanken. Bei den klassischen Grundsubstraten der Biogasvergärung, dem Flüssigmist von Rindern und Schweinen, werden zwischen 130 und 320 Liter Methan/kg oTS produziert. Daraus errechnet sich ein Methan-Ertrag zwischen 500 und 1200 Liter/GV und Tag.

In den verschiedenen Substraten können für die Gasbildung hemmende Stoffe (Hemmstoffe) enthalten sein, die über die Tiere (Antibiotika), das Tierfutter (Futterzusatzstoffe), das Entmistungssystem (Desinfektionsmittel) oder als natürliche Bestandteile von Kofermenten (z.B. Ammoniak, das beim Abbau von Eiweiß entsteht) eingetragen werden.

2.2 Kofermente und Biogas-Erzeugung

2.2.1 Herkunft der Kofermente

Kofermente ihrerseits sind leicht abbaubare organische Substanzen, die dem Substrat im Fermenter zugegeben werden. Kofermente sind dann für die Vergärung geeignet, wenn sie nur in geringer Konzentration Hemm-, Stör- und Schadstoffe enthalten, so dass weder der Biogasprozess noch die landwirtschaftliche Verwertung des Gärrückstandes nachteilig beeinflusst wird. Derzeit werden überwiegend Rest- und Rückstände aus der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung sowie organische Abfälle als Kofermente in landwirtschaftlichen Biogasanlagen eingesetzt.

Potenziell könnten auch organische Reststoffe und Abfälle aus verschiedenen Industriebereichen, wie z.B. der pharmazeutischen Industrie oder der Grundstoffindustrie Verwendung finden. Es erscheint jedoch sinnvoll die Kofermentation von Rest- und Abfallstoffen zunächst auf den engeren Bereich der Landwirtschaft und der Lebensmittelindustrie zu beschränken, um die landwirtschaftlichen Biogasanlagen nicht als „universelle Mülltonne“ zu missbrauchen und damit das Vertrauen der Verbraucher in die Landwirtschaft zu beschädigen. Der Landwirt wird aber auch zum Abfallentsorger und muss sich zwangsläufig mit betriebsfremden Anforderungen des Abfallrechts beschäftigen.

Abbildung 7: *Frischmasse- und Gaserträge ausgewählter Energiepflanzen und Feldfrüchte* (MITTERLEITNER 2000B)

	Frischmasse in t/ha/a	Gasertrag je t in m³	Gasertrag je ha in m³
Wiesengras, 1. Schnitt	80	97,0	7.760
Silomais	45	208,3	9.374
Corn Cob Mix	15	431,4	6.472
Gehalts-Futterrüben	100	93,5	9.350
Massen-Futterrüben	100	70,1	7.014
ZR-Blatt-Silage	40	89,7	2.587
Kartoffeln	45	88,0	3.960
Weizenkörner	8	658,1	5.265

Neben der Verwertung organischer Abfälle wurden in den letzten Jahren zunehmend Energiepflanzen und andere landwirtschaftliche Biomasse eingesetzt. Möglicherweise tritt aber die Kofermentation von organischen Abfällen zu dieser sinnvollen landwirtschaftlichen Nutzung von Biomasse und Energiepflanzen in Konkurrenz, ohne dass die Möglichkeiten der

Kofermentation von Energiepflanzen sich in der Praxis richtig durchgesetzt hat. Der Anbau von Energiepflanzen (v.a. auf Stilllegungsflächen) bietet den Landwirten zusätzliche Einnahmen in Form von Flächenprämien. Der Landwirt bleibt damit dort beschäftigt, wo er sich am besten auskennt - in der Landwirtschaft“. Die Verwertung von Energiepflanzen stellt sich für die Landwirte wesentlich unproblematischer dar. Es treten keine logistischen und organisatorischen Probleme auf, die Qualitätsanforderungen an landwirtschaftliche Kofermente sind bekannt und es sind keine zusätzlichen Genehmigungen erforderlich.

1999 wurden in Bayern in rund 60 Biogasanlagen versuchsweise Energiepflanzen als Kofermente eingesetzt. Die dort gemachten Erfahrungen wurden insgesamt positiv bewertet, eine erste Anlage auf dem Klosterhof Dernbach hat im Herbst 2000 den Betrieb zur ganzjährigen Verwertung von Energiepflanzen aufgenommen und wird von der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) wissenschaftlich begleitet (WEILAND 2000B). Inzwischen gestattet das Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) die Verwertung Nachwachsender Rohstoffe von Stilllegungsflächen in Biogasanlagen. So wird mit der Stilllegungsprämie (600 DM/ha) der Anbau von Energiepflanzen gefördert. Für den Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen gelten folgende Bedingungen:

- Denaturierung mit 5-10 % Zusatz von Gülle oder Festmist bei der Einsilierung
- Einlagerung, Denaturierung und Mengenfeststellung werden durch fachkundiges Personal des Fachverbandes Biogas überwacht,
- Anbauerklärung an das BLE abgeben,
- Ernte und Öffnung dem BLE anzeigen,
- Eine Sicherheit von 250 Euro hinterlegen,
- Ein Bestands- und Verarbeitungsbuch führen.

Dem steht der Erhalt der Stilllegungsprämie positiv gegenüber und die Flächen müssen nicht begrünt werden (MITTERLEITNER 2000A).

2.2.2 Belastungsgrenzen des Vergärungsprozesses

Der Einsatz von Kofermenten erfordert umfassende Erfahrungen des Betriebsprozesses. Durch die Zugabe von organischen Abfällen als Kofermente können die Mikroorganismen im Fermenter mit abbaubaren Stoffen überlastet werden. In der Folge kann der Gärprozess gestört werden oder sogar vollkommen zum Stillstand kommen. Strikt anaerobe Mikroorganismen weisen in der Regel lange Generationszeiten von über 15 Tagen auf. Ein Absterben der anaeroben Bakterienpopulation hat daher meist drastische Folgen und kann zu einem Betriebsausfall von mehreren Wochen führen.

Über die Belastbarkeit einer Biogasanlage mit Kofermenten gibt es bisher wenig allgemein gültiges Wissen, da je nach Bauart und Betriebsweise der Anlage die tolerierten Belastungen variieren. Ein verlässliches Frühwarn- und Prognosesystem konnte daher bisher weder von Anlagenbauern noch von der Wissenschaft entwickelt werden. Grundsätzlich gilt, dass die Belastung des Biogasprozesses gering gehalten wird, wenn ausschließlich Reststoffe und

Abwässer der Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie der Lebensmittel- und Getränkeindustrie eingesetzt werden. Kritisch auf den Prozess der anaeroben Vergärung wirkt sich eine hinsichtlich der Raumbelastung und Zusammensetzung schwankende Substratzufuhr aus. Es ist daher im Hinblick auf die jeweilige Anlage genau zu planen, welche Reststoffe, in welcher Menge als Koferment verwendet werden. Große Mengen leicht abbaubarer Stoffe bergen die Gefahr einer Versäuerung der Biogasanlage. Vor allem bei Reststoffen mit hohen Zucker- und Stärkegehalten (wie z.B. Brennereischlempen) tritt Propionsäure (und auch Milchsäure), die für viele Mikroorganismen toxisch sein kann, in verstärktem Maße als Zwischenprodukt auf (BEHMEL/MEYER-PITTRUFF 1996).

2.2.3 Steigerung der Biogausbeute durch Zugabe von Kofermenten

Der Zusatz von Kofermenten bewirkt in Abhängigkeit des verwendeten Substrates meist eine deutliche Steigerung der Biogausbeute. Der substratspezifische Methan-Ertrag kann bei energiereichen Substraten zwei- bis dreimal so hoch liegen, wie der Methan-Ertrag von Flüssigmist. So bringt beispielsweise die gemeinsame Vergärung von Schweinegülle mit Altfett (bei einer Zugabe von nur 50 kg/je m³ Gülle) bei gleichbleibender Durchflussmenge eine Erhöhung der Biogaserzeugung um 200 %. Bei der Kofermentation von Gemüseabfällen im Verhältnis 1:1 sind Ertragssteigerungen von über 300 % möglich.

Abbildung 8: Gasausbeute und Biogasgehalt (ÖKL 1999c)

Stoffklasse	Gasausbeute Liter/kg OS (oTS)	Biogas (CH ₄) %	Energie (MJ/kg oTS)
Kohlehydrate	800-900	50	14,4
Fette	1200	67	28,9
Proteine	700	70	17,6
Rindergülle	350	62	8,1
Schweinegülle	400	62	8,9

Nach den meisten Praxiserfahrungen erscheint der Zusatz von Kofermenten in einer Größenordnung von bis zu 40 % des Gülleanteils durchaus sinnvoll. Diese Mengenbeschränkung verhindert eine Überschreitung der Raumbelastung des Fermenters und eine Überbelastung der Pufferkapazität der Gülle. Auf diese Weise bleibt der Biogasprozess stabil. Werden Reststoffe aus dem eigenen Betrieb als Kofermente eingesetzt, bleibt zudem die Nährstoffbilanz des Betriebes ausgeglichen.

Liegt der Kofermentanteil über 40 % des Inputs, sollte der Fermenter mit kleinen Raumbelastungen betrieben werden. Dann reicht die Pufferkapazität der Gülle meist aus, um auch bei Stoßbelastungen durch Kofermente einen stabilen Betrieb aufrecht zu halten. Eine Mitverarbeitung proteinreicher Kofermente kann jedoch zur Überschreitung der kritischen Ammoni-

umstickstoff-Konzentration führen, wodurch eine teilweise oder vollständige Hemmung der Methan-Gärung ausgelöst werden kann. Bei höheren Raumbelastungen und Kofermentanteilen von bis zu 50 % kann es zu einer Versäuerung des Fermenterhalts kommen. Um ein „Umkippen“ des Biogasprozesses zu verhindern, sollte der zugesetzte Anteil an hochenergetischen organischen Substanzen begrenzt werden. Eine Überschreitung der Raumbelastung von 4 kg oTS/m³ Fermentervolumen und Tag sollte verhindert werden. Ebenso führt ein ständiger Wechsel der Kofermente meist zu unerwünschten verfahrenstechnischen Problemen beim Prozessablauf.

Hemmungen des anaeroben Abbauprozesses können durch viele Stoffe hervorgerufen werden. Von besonders schädlicher Wirkung für bakterielle Abbauvorgänge sind Bakterizide, Herbizide, Insektizide und Tenside. Eine genaue Festlegung von Grenzwerten für Hemmstoffe ist aufgrund der Adaptationsfähigkeit der Bakterien nicht möglich, so dass hier nur grobe Grenzbereiche angegeben werden können.

Abbildung 9: Hemmfaktoren der Methangärung (nach WENDLER 1997)

Hemmsubstanzen	Grenzbereiche* in mg/l
Kupfer	5-100
Cadmium	70
Chrom	28-200
Cyanid	2
Nickel	50-200
Zink	3-100
Blei	8-30
Natrium	5.000 – 14.000
Kalium	2.500 – 5.000
Calcium	2.500 – 7.000
Magnesium	1.000 – 1.500
Sulfid	100 (pH-abhängig)
Formaldehyd	100
Isofettsäuren	50 (ph-abhängig)
Nitrit, Nitrat	50
Tenside	30-40
Ammonium	1.250 – 5.000
Kohlendioxid	> 1 bar und < 0,2 bar
* Konzentrationen von Hemmstoffen, bei denen ein Rückgang der Biogasproduktion beobachtet wurde	

Bei neueren Anlagen (seit etwa 1998) handelt es sich meist um speziell geplante Kofermentationsanlagen mit der erforderlichen Aufbereitungstechnik und entsprechenden Lagerungsmöglichkeiten. In den meisten Biogasanlagen werden Kofermente verwertet, die keine besonderen seuchen- und phytohygienischen Anforderungen bei der Verwertung erfordern. Anlagen, in denen dagegen Stoffe vergoren werden, die eine besondere Überwachung erfordern, wie z.B. Speiseabfälle, Flotatfette oder Bioabfall, müssen Seuchen- und Phytohygiene gewährleistende Verfahrenstechniken anwenden.

Außerdem sollte eine mittelfristige, regelmäßige Anlieferung der Kofermente gesichert sein – ein Vertrag mit einer Mindestlaufzeit von 5 Jahren wird als Voraussetzung für den Bau einer Kofermentationsanlage angesehen, ansonsten steht bei Mangel an geeigneten Kofermenten die Wirtschaftlichkeit der Anlage in Frage. Mit der Zulieferfirma sollte ein Vertrag abgeschlossen werden, in dem v.a. auch die Mengen, Zusammensetzung, Lieferzeiten und Entsorgungsgebühren festgelegt werden. Wenn kein mittelfristiger Liefervertrag abgeschlossen werden kann, sollte vorab geprüft werden, ob ein wirtschaftlicher Betrieb der Biogasanlage auch ohne außerlandwirtschaftliche Kofermente (z.B. mit Energiepflanzen aus dem eigenen Betrieb) gesichert ist.

2.2.4 Anforderungen an die Hygiene und Schadstoffbelastungen

Die Bioabfallverordnung schreibt für die Vergärung von Bioabfall in thermophilen Biogasanlagen eine Mindesttemperatur von 55°C und eine Mindestverweilzeit von 24 Stunden und für mesophile Anlagen eine vorgeschaltete Pasteurisierungsstufe (70°C, 1 Stunde Mindestverweilzeit) vor. Unter Auflagen können auch Anlagen, die z.B. Speiseabfälle und Fette aus Fettabscheidern verwerten, zugelassen werden, sofern nachgewiesen werden kann, dass von den Kofermenten und Gärresten keine Umwelt- und Gesundheitsgefährdungen ausgehen. In diesem Fall muss im landwirtschaftlichen Betrieb außerdem das Prinzip der „reinen Seite“ und „unreinen Seite“ eingehalten werden, d.h. unerhitzte Speiseabfälle oder Fettabscheider sind bis zur Erhitzung so aufzubewahren, dass bereits erhitzte Speiseabfälle und vergorenes Substrat mit ihnen nicht in Berührung kommen können. Neben der Getrenntlagerung wird meist eine Einhausung des Anlieferbereiches der Kofermente mit Keim- und Geruchsabsaugung gefordert.

In der Regel überschreiten organische Rest- und Abfallstoffe die Schadstoffkonzentrationen von Wirtschaftsdüngern und Klärschlamm nicht (vgl. auch KTBL 1998/KTBL 1999). Dennoch sollten, sofern sie nicht ohnehin rechtlich vorgeschrieben sind, Analysen auf Stör- und Schadstoffgehalte vor dem Einsatz bestimmter Kofermente wie z.B. Speiseabfälle und Fettabscheiderinhalte durchgeführt werden. Die Lagerzeiten bestimmter Kofermente wie etwa von Speiseabfällen müssen möglichst kurz (unter einer Woche) gehalten werden, da sonst in der Regel starker Schimmelbefall einsetzt. Der Eingangskontrolle folgt eine Zerkleinerung (< 1 cm) mit anschließender Siebung und der Abtrennung der Störstoffe. Hiermit wird das Fließverhalten des Gärsubstrates verbessert und eine sichere Hygienisierung erreicht.

Abbildung 10: Gasausbeuten und Erträge durch Kofermentation (BASERGA 1998)

Kofermente	TS	Gasausbeute	CH ₄ *	Zugabe	Zusatz- Ertrag	TS-Gemisch
Einheiten	%	Liter/kg OS	%	Gew. %	%	%
Gemüseabfälle	12	600	60	100	360	8-9
Panseninhalt	16	360	62	20	60	7-8
Altfett	50	1000	70	5	200	8
Extensogras	35	500	56	10	120	8
Weizenabgang	83	470	60	5	100	8

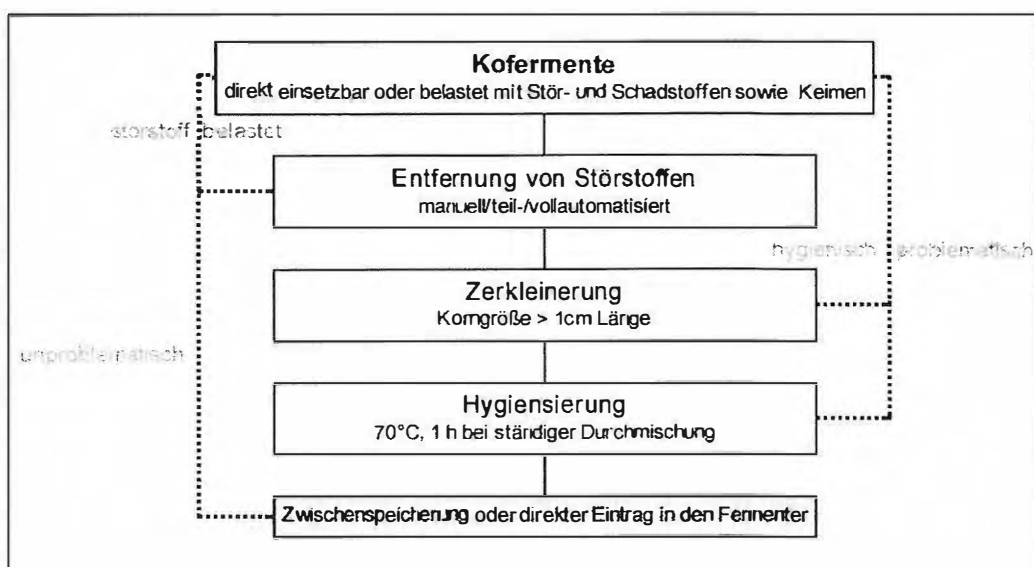
* Methangehalt des Biogas; OS = Organische Substanz

2.3 Die Elemente einer Kofermentationsanlagen

2.3.1 Aufbereitung und Vorbehandlung

Im Gegensatz zur Monovergärung von Gülle, benötigen Kofermentationsanlagen Vorrichtungen zur Vermischung und Homogenisierung des Gesamtsubstrates, damit ein schneller und vollständiger Aufschluss der organischen Feststoffe durch die Mikroorganismen erfolgen kann.

Abbildung 11: Aufbereitung von Kofermenten



Eine Hygienisierungsanlage durchschnittlicher Größe kostet bei einem Volumen von 1 m³ je nach Ausführung und Anbieter zwischen 50.000 und 70.000 DM. Hinzu kommen die Betriebskosten für Wärme und Strom. Vor der Investition sollte geprüft werden, ob die ungenutzte Abwärme des BHKW für die Hygienisierung genutzt werden kann. Bei der Kofermentation von Kofermenten sind Verfahrensschritte notwendig, die für einen raschen anaeroben mikrobiologischen Abbau von organischen Abfällen sorgen. Die abzubauenen Kofermente müssen daher fein zerkleinert, homogenisiert und angemischt werden. Von der Grobzerkleinerung bis zur Feinstvermahlung werden unterschiedliche Verfahren angeboten. Die eigentliche Homogenisierung findet im Fermenter statt, in dem zur Vermeidung von Schwimm- und Sinkschichten das Substrat in bestimmten Zeitabständen mit Rührwerken durchmischt wird. Wichtig ist v.a. eine Durchmischung direkt nach der Einbringung von Kofermenten und frischer Gülle in den Fermenter, damit neue und ausreichende Kontaktflächen zwischen Bakterien und Substrat geschaffen werden.

2.3.2 Vergärungsverfahren und Temperaturoptima

Grundsätzliche Unterschiede bestehen in der *Konsistenz* der bearbeiteten Abfälle und Wirtschaftsdünger; es werden die *nasse* und die *trockene* Vergärung unterschieden. Derzeit existieren nur einige wenige Trockenvergärungsanlagen, die die Grundsubstrate Mist oder Gülle mit Stroh verwerten. Dieser Anlagentyp befindet sich noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium, so dass hier keine abschließende Betrachtung des Verfahrens erfolgen kann. In der Landwirtschaft werden aufgrund des hohen Wassergehaltes der Gülle grundsätzlich Nassvergärungsverfahren eingesetzt.

Für die verschiedenen an den Abbauprozessen beteiligten Mikroorganismen bestehen unterschiedliche Temperaturoptima. Die versäuernden Bakterien weisen ein Optimum bei 30°C auf. Die zwei verschiedenen methanogenen Bakteriengruppen unterscheiden sich in den von ihnen bevorzugten Temperaturoptima: der mesophile Bereich reicht von 25°C bis 37°C und der thermophile Bereich von 55°C bis 60°C. Die Wahl der Reaktionstemperatur hat direkte Auswirkungen auf die Abbaugeschwindigkeit und -rate. Dies bedingt auch Unterschiede beim Energieaufwand, da zur Aufrechterhaltung einer höheren Betriebstemperatur mehr Wärmeenergie aufgewendet werden muss.

Die *thermophile Prozessführung* hat gegenüber der mesophilen Betriebsweise Vorteile: Der Grad der erreichten Hygienisierung ist größer, und die Abbaurate ist gegenüber dem mesophilen Betrieb um bis zu 10 % erhöht, womit eine entsprechend höhere Gasausbeute verbunden ist. Demgegenüber steht jedoch eine geringere Nettoenergieausbeute, da für die Aufrechterhaltung der Prozesstemperatur (mind. 55°C) ein höherer Anteil des erzeugten Biogases zur Wärmeerzeugung verbraucht wird. Ein weiterer Nachteil bei thermophilen Verfahren besteht in der im Fermenter gebildeten höheren Ammoniak-Konzentration (bedingt durch die Temperaturabhängigkeit des Ammonium-Ammoniak-Gleichgewichts), die sich auf die methanbildenden Bakterien toxisch und damit hemmend auf den Prozess auswirkt. Die Folge ist eine geringere Prozessstabilität.

Die meisten Wirtschaftsdünger mit Kofermenten vergärenden Biogasanlagen werden im mesophilen Temperaturbereich (ca. 80 %) betrieben (OECHSNER 1999A U. OECHSNER/KNEBELSPIER 1999). Die mesophile Betriebsweise stellt einen guten Kompromiss hinsichtlich Abbauleistung und Prozessstabilität dar und ist daher für die Anwendung in der Landwirtschaft gut geeignet.

2.3.3 Verweildauer der Gärsubstrate

Wie alle biologischen Prozesse ist auch der Biogasprozess stark temperaturabhängig. Neben der Prozesstemperatur wirkt sich zudem die Art des Substrates auf die hydraulische Verweilzeit des Substrates aus. Leicht abbaubare organische Substanzen, wie sie häufig in Kofermenten bzw. in Hühner- und Schweinegülle vorzufinden sind, erfordern geringe Verweilzeiten, schwer abbaubare organische Substanzen wie z.B. Rindergülle oder Substrate mit hohen Anteilen an Stroh (Festmist) erfordern in der Regel wesentlich höhere Verweilzeiten. Für Rinderflüssigmist wird beispielsweise eine hydraulische Verweilzeit zwischen 25 und 40 Tagen empfohlen.

Abbildung 12: Temperaturbereiche der Prozessführung

Art der Mikroorganismen	Temperatur	Verweildauer in Tagen	Bewertung
Psychrophil	15° - 20 °C	90 – 120	Geringer Energiebedarf, zu lange Verweilzeit wegen geringerer Abbauleistung und Gasproduktion, damit zu geringer Durchsatz und mangelnde Wirtschaftlichkeit
Mesophil	35° - 38°C	25 – 40	Hohe Prozessstabilität, einfache Handhabung, am häufigsten genutzter Temperaturbereich
Thermophil	>55 °C	Etwa 10	Schneller und z.T. vermehrter Stoffabbau, hohe Wärmeverluste, hoher Energieverbrauch, Vorteil: Hygienisierung kann gewährleistet werden

2.3.4 Fermentertypen

Durchflussfermenter arbeiten nach dem Pfropfstrom-Prinzip, nach dem das eingebrachte Substrat langsam vom Einlauf zum Auslauf fließt. Dabei kommt es nur zu einer Durchmischung quer zur Strömungsrichtung. Das Substrat wird durch Heizschlangen im Rührwerk erwärmt.

Speicher-Durchfluss-Fermenter erreichen eine vollständige Durchmischung des Substrates, so dass unter Umständen Kurzschlussströmungen möglich sind. Die Beheizung erfolgt durch den Fermenterboden oder die Wände.

Speicherfermenter sind meist so groß, dass sie gleichzeitig als Endlager dienen. Dies spart Kosten und führt aufgrund langer Verweilzeiten zu einer hohen biologischen Abbaurate und einer hohen Gasausbeute. Nachteilig wirkt sich der quasi Abbruch der Vergärung bei Entnahme der Gärreste und dem anschließenden erneuten Befüllen aus. Hierbei wird der Gärungsprozess durch die drastische Reduzierung der Füllmenge stark gestört. In der Folge kommt es zu einem vorübergehenden Absinken Biogasproduktion.

Nach einer Evaluierung von Biogasanlagen in Baden-Württemberg weisen Speicheranlagen eine durchschnittliche hydraulische Verweilzeit von mehr als 100 Tagen, während Speicherdurchflussanlagen im Durchschnitt bei 76 Tagen und Durchflussanlagen bei unter 40 Tagen lagen (OECHSER 1998).

2.3.5 Ein- und zweistufige Prozessführung

In der Vergangenheit wurden landwirtschaftliche Biogasanlagen meist im Eigenbau errichtet, daher tragen die meisten Anlagen individuelle Züge. Erst in den letzten Jahren etablieren sich erste Kleinserienfertigungen von Baukomponenten in schlüsselfertiger Bauweise am Markt. Durch das Marktanreizprogramm wird diese Tendenz der Serienfertigung unterstützt, da der Bundeszuschuss nicht für Selbstbauanlagen gewährt wird.

Beim *mehrstufigen Verfahren* ist die Hydrolyse und Versäuerung räumlich von dem Prozess der Acetat- und Methanbildung getrennt. Dadurch kann die Methanstufe vor einer zu starken Versäuerung geschützt werden und die Verweilzeiten des Substrates verkürzt werden. Die Abbauleistung für dieses Verfahren liegt zwischen 50 bis 80 % oTS. Insgesamt ist das zweistufige Verfahren apparativ aufwendiger, kann aber besser auf die jeweiligen Milieubedingungen eingestellt werden.

Beim *einstufigen Verfahren* finden die acetogene und die methanogene Phase des Biogasprozesses in einem Behälter statt. Die Abbauleistung beträgt 40 bis 60 % der oTS. Insgesamt sind einstufig arbeitende Anlagen verfahrenstechnisch einfacher aufgebaut, mit ihnen werden gegenüber zweistufigen Anlagen geringere biologische Umsätze und Raum-Zeit-Ausbeuten erzielt, da Kompromisse für die unterschiedlichen Milieuanprüche der verschiedenen Mikroorganismen gefunden werden müssen. Es ist jedoch nicht möglich, einen einzelnen Abbauschritt zu optimieren, ohne gleichzeitig die Bedingungen für die anderen Schritte zu verschlechtern.

In der Evaluierung der Biogasanlagen in Baden-Württemberg wurde folgende Verbreitung der Verfahren ermittelt: 65 % Speicherdurchflußanlagen, 30 % Durchflußbiogasanlagen und 5 % Kombination und andere Varianten (OECHSNER 1999A).

Kontinuierlich: Gleichmäßige Befüllung des Fermenters mit Substrat. Die kontinuierliche Prozessführung hat den größten Anteil an allen Biogasanlagen. Nur die kontinuierliche Beschickung mit mehr als acht über den Tag gleichmäßig verteilten Zugaben erlaubt maximale Gaserträge. Hieraus ergibt sich der Nachteil, dass die zu definierende Verweilzeit einzelner Volumenelemente nicht exakt bestimmt werden kann, was möglicherweise zu mangelnder Hygienisierung führen kann (Kurzschlussströme!).

Diskontinuierlich: Die Befüllung erfolgt unregelmäßig. Der Fermentervolumenbedarf ist in der Regel höher und die Biogasproduktion ungleichmäßig. Bei der diskontinuierlichen Prozessführung ändern sich im Laufe der hydraulischen Verweilzeit die Zusammensetzung des Gärsubstrates im Fermenter. Der anaerobe Abbau wird zeitlich nacheinander von jeweils spezialisierten Bakteriengruppen bewerkstelligt. Der Vorteil dieser Prozessführung liegt in einer definierten Verweilzeit für alle Volumenteile des Reaktors. Unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte und den in der Viehhaltung herrschenden Arbeitsabläufen ist die diskontinuierliche Prozessführung für Landwirtschaftsbetriebe nicht geeignet und bildet heute bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen die Ausnahme.

2.3.6 Gasspeicherung, Gasreinigung und Gasqualität

Zur Gasspeicherung werden üblicherweise Foliensäcke verwendet. Bei Betonfermentern ohne Decke sind die Folienspeicher gasdicht am oberen Rand befestigt und bilden den Gasraum direkt über den Gärresten. Bei liegenden Fermentern sind die Speicher meist in einer nebenstehenden Behausung untergebracht.

Für die Lebensdauer der BHKW-Motoren spielt v.a. die Qualität des Biogases (Schwefelwasserstoffgehalt, Gehalt an Feuchtigkeit und sonstigen Verunreinigungen) eine wesentliche Rolle (VON OHEIMB 1999). Zur Verwertung in einem BHKW sollte das Biogas ein Grenzwert des Schwefelwasserstoffgehaltes (H_2S) von 50 ppm unterschreiten, um den Motor nicht zu schädigen (Korrosion durch H_2S). Das im Biogas enthaltene H_2S hängt direkt vom Schwefelgehalte der Ausgangssubstrate ab: während Rindergülle nur geringe Mengen Schwefel enthält, liegt der Schwefelanteil bei Schweinegülle und bei vielen Kofermenten hoch. Hefe kann beispielsweise bis 3.000 mg Schwefel pro kg TS enthalten. Schwefelwasserstoff ist hochgiftig und ruft bereits in geringen Konzentrationen Geruchsbelästigungen hervor. Außerdem wirkt sich eine Entschwefelung von Biogas positiv auf die Lebensdauer der Verbrennungsmotoren aus. Ein erhöhter Anteil von Schwefelwasserstoff im Biogas hat zudem einen erhöhten Schwefeldioxidgehalt im Abgas des BHKWs zur Folge. In den Anfängen der Biogastechnologie wurde das Biogas vor der Verbrennung durch eine Schüttung von Eisenhydroxid ($Fe(OH)_3$) zur Entschwefelung geleitet. Heute wird dieses Verfahren nur noch bei rund 7 % der Biogasanlagen eingesetzt. Diese Methode erfordert einen hohen Wartungsaufwand, da das mit Schwefel belastete Eisenhydroxid regelmäßig regeneriert werden muß.

Heute ist ein biologisches Entschwefelungsverfahren üblich, das sich bei rund 92 % der Biogasanlagen etabliert hat (von OHEIMB 1999). Bei diesem System wird Schwefelwasserstoff von Schwefelbakterien zu elementarem Schwefel oxidiert. Der für die Oxidation benötigte Sauerstoff wird in Form von atmosphärischer Luft in den Gasbereich des Fermenters (meist mit Hilfe einer Aquarienpumpe) eingeblasen. Dabei wird eine Luftrate zwischen 3 und 8 % der täglich produzierten Biogasmenge zugeführt und eine Entschwefelungsrate von ca. 95 % erreicht. Der zugesetzte Luftsauerstoff oxidiert zu elementarem Schwefel, verbleibt im Gärrest und steht bei der Düngung als Spurenelement zur Verfügung (OECHSNER/HAVRDA 2000).

2.4 Energiebilanz und Emissionen von Kofermentationsanlagen

Der Haupt-Emissionsstrom von landwirtschaftlichen Biogasanlagen erfolgt aus der Gärrestelagerung und Aufbringung. Da Gärreste nach Entnahme aus dem Fermenter nicht vollständig vergoren sind, wird bei offenen Gärrestelagern das weiterhin entstehende Biogas freigesetzt. Die von einer Vergärungsanlage selbst ausgehenden Geruchsemissionen beschränken sich im wesentlichen auf die Annahme- und Aufbereitungszone. Ansonsten sind kaum Geruchsbelastungen zu erwarten, da die Vergärung in einem geschlossenen System erfolgt. Die Reststoffe aus der Vergärung weisen unmittelbar nach Austritt aus dem Fermenter nicht unerhebliche Geruchsintensitäten auf, welche jedoch innerhalb eines Tages stark abklingen.

Im Gegensatz zu aeroben Verfahren (wie z.B. der Kompostierung) wird bei der Vergärung kaum Wärmeenergie freigesetzt. Es wird die energiereiche Verbindung Methan gebildet, das in BHKWs energetisch verwertet wird. Im Durchschnitt werden von der im BHKW produzierten Energie 20–30 % für den Eigenbedarf benötigt, etwa 20 % gehen als Abwärme verloren, so dass insgesamt ein Energie-Überschuss von 50–60 % zu verzeichnen ist.

Die durchschnittliche Zusammensetzung von Biogas sieht folgendermaßen aus:

- Methan ca. 60 % Vol. mit einem Energiegehalt von 9,75 kWh/m³ netto
- Kohlendioxid ca. 38 % Vol.
- Restgase ca. 2 % Vol. (inkl. Schwefelwasserstoff)
- Heizwert des Biogas: 5,97 kWh/m³

Nach einer bundesweiten Erhebung (von OHEIMB 1999) wird über 85 % des in Biogasanlagen erzeugten Biogases verstromt. Bei der Verstromung von Biogas im Blockheizkraftwerk entsteht etwa ein Drittel mechanische Energie, die restlichen zwei Drittel des Energieinhaltes fallen als Verbrennungswärme an.

2.5 Blockheizkraftwerk

In landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden derzeit Blockheizkraftwerke (BHKW) mit einer elektrischen Leistung zwischen 15 und 150 kW eingesetzt. In Abhängigkeit vom Motorsystem (Wirkungsgrad) werden zwischen 25 und 37 % Strom erzeugt. Die restliche Energie fällt in Form von Abwärme an. Diese wird zum Teil zur Aufrechterhaltung der Prozesstemperatur, zum Teil im landwirtschaftlichen Betrieb zu Heizzwecken genutzt.

Drei Typen von Verbrennungsmotoren werden derzeit in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zur Energieerzeugung eingesetzt:

- a) Otto-Motoren in reinem Gasbetrieb
- b) Diesel-Motoren in reinem Gasbetrieb mit Zündung
- c) Gasbetrieb mit Dieseleinspritzung (Zündstrahlbetrieb)

In Zukunft kann auch die Brennstoffzellentechnik Anwendung finden, die sich derzeit noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium befindet.

Ein Vergleich sowie die Vor- und Nachteile der einzelnen Motorentypen finden sich in der Publikation *KTBL 1998* und werden hier nicht im Detail ausgeführt.

Weit verbreitet sind auf Gasbetrieb umgerüstete Ottomotoren, sowie Diesel-Zündstrahlmotoren, der Anteil Letzterer an den BHKWs in Baden-Württemberg betrug 1999 67 % (OECHSNER 1999B). Beim Zündstrahlmotor handelt es sich generell um Seriedieselmotoren, deren Selbstzündung durch das parallele Einspritzen einer geringen Menge von Zündöl (Diesel) ermöglicht wird.

2.6 Lagerung der Gärreste

Um erhöhte Emissionen während der Lagerung zu vermeiden, ist eine Abdeckung des Güllelagers unbedingt vorzusehen, da die klimarelevanten CO₂-Einsparungen durch die Biogaserzeugung und Verwertung durch die Freisetzung von Methan aus dem Gärrestelager wieder aufgehoben werden. Nach Schätzungen soll bereits ab einer Freisetzung von 5 % des Gesamt-Methanertrags der Biogasanlage die CO₂-Neutralität der Biogaserzeugung aufgehoben sein, so dass die Art der Gärrestelagerung einen entscheidenden Einfluss auf die Reduktion klimawirksamer Gase hat. Je nach Verweildauer und Zusammensetzung der Gärreste können im Gärrestelager zwischen 5 und 15 % des gesamten Biogasprozesses entstehen (WEILAND 2000A).

2.7 Abwasserfreie Verwertung der Gärreste

Im Gegensatz zu ausgefaultem Schlamm, der in Kläranlagen anfällt und Gärresten aus reinen Biomüllvergärungsanlagen, werden die Gärreste aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Regel nicht entwässert, sondern direkt auf die landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht. Die Gärreste sind durch den Abbau organischer Substanz flüssiger als das Ausgangssubstrat und werden vollständig als Wirtschaftdünger ausgebracht. Die Gärreste weisen nach der Vergärung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Regel einen Wassergehalt von 85-95 % auf. Es fallen daher keine Trübwässer oder Zenträte an, die aerob nachbehandelt werden müssen. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass im Gegensatz zur heute in Vergärungsanlagen von Klär- und Biomüllanlagen üblichen Entwässerung der Gärreste, die in Trübwässern enthaltenen Schadstoffe bei landwirtschaftlichen Kofermentationsanlagen in den Boden verlagert werden. Die Schadstoffbelastung hängt daher direkt von der Zusammensetzung der Kofermente und Grundsubstrate ab.

Die umweltentlastende Wirkung der anaeroben Behandlung (Vergärung) von Gülle in Biogasanlagen wird gelegentlich überschätzt. Die Gesamtgehalte an Makro-Nährstoffen (Stickstoff (N), Phosphat (P), Kali (K)) und Schadstoffen, hier insbesondere Schwermetalle, wer-

den gegenüber den Gehalten in den Grundsubstraten und Kofermenten durch den organischen Masseverlust bei der Methanisierung leicht erhöht. Die stickstoffhaltigen Komponenten der Gülle (u.a. Eiweißderivate) werden nicht zu Biogas, sondern zu Ammonium und Nitrat umgewandelt und verbleiben in den Feststoffen. Ammoniumnitrat ist sehr gut pflanzenverfügbar, allerdings speziell auf Sandböden bei starken Niederschlägen auch leicht verla-gerbar. Diese Verbindungen sind damit der Auswaschung ins Grundwasser und der Ab-schwemmung in Oberflächengewässer ausgesetzt. Diesbezüglich ist keine signifikante Ver-besserung der Auftragsgefährdung gegenüber unbehandelter Gülle erkennbar.

Abbildung 13: Nährstoffgehalte verschiedener Substrate und Kofermente (KTBL 1998)

Substrat	TS (%)	OS (% TS)	N _{tot} (% TS)	P ₂ O ₅ (% TS)	K ₂ O (% TS)
Rindergülle	6 - 11	68 - 85	2,6 - 6,7	0,5 - 3,3	5,5, - 10
Schweinegülle	2 - 9	60 - 85	6 - 18	2 - 10	3 - 7,5
Hühnerkot	30 - 35	70 - 80	5 - 6	3 - 4	3
Gemüseabfälle	5 - 20	76 - 90	3 - 5	0,8	1,1
Speiseabfälle	9 - 37	74 - 98	0,6 - 5	0,3 - 1,5	0,1 - 1,2
Panseninhalt	11 - 19	80 - 90	1,3 - 2,2	1,1 - 1,6	0,5 - 0,6
Fettabscheider-Fette	2 - 70	70 - 95	0,1 - 3,6	0,1 - 0,6	0,1 - 0,5
Flotatfette (Schlachthof)	5 - 24	83 - 98	3 - 8	1 - 4	0,05 - 0,2
Gras-Silage	25 - 40	67 - 98	1,2 - 4	0,4 - 2	1,7 - 6,5

Vorteile ergeben sich aus der Verringerung des Trockensubstanzgehaltes auf etwa die Hälfte des Ausgangsstoffes. Dadurch werden die Gärreste homogener, fließen bei der Ausbringung schneller von den Pflanzen ab und infiltrieren besser den Boden. Daher sollte das Gärgut bodennah z.B. durch Schleppschlauchverteiler oder ähnliche Systeme auf die Flächen aufgebracht werden, Ätزشäden an Pflanzen sowie Ammoniak- und Geruchsemissionen werden so deutlich vermindert. Der Anteil des Ammonium-Stickstoffs steigt um etwa 20 bis 30 %, wodurch sich die pflanzenbauliche Wirksamkeit des Gärguts gegenüber der reinen Gülle entscheidend verbessert. Das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis verengt sich von C/N 8 auf C/N 4. Da die Mobilisierung von Stickstoff und damit dessen unkontrollierbare Auswaschung vermindert wird, kann die organische Düngung von Landwirten besser kalkuliert werden (ÖKL 1999A). Die über die organischen Abfälle in den landwirtschaftlichen Betrieb eingebrachten Pflanzennährstoffe sind zwingend bei der Düngeplanung zu berücksichtigen. Um die Umweltverträglichkeit der Verwertung als Dünger sicherzustellen, sind bei der Verwendung der Gärreste die „Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen“, (wie Aufbringungs-men-

ge, Pflanzenbedarf, Puffervermögen der Böden, Klimabedingungen, Hangneigung sowie Abstand zu Gewässern und Biotopen) zu beachten.

Auswirkungen des Biogasprozesses auf die Inhaltsstoffe

Einengung des C/N-Verhältnisses

Erhöhung des pH-Wertes um 0,5 bis 1,0

Erhöhung des Ammonium-N-Anteils

Geringere Teilchengröße

Geringerer TS-gehalt

Besseres Fließverhalten und Ablaufverhalten von Pflanzen

Teilweise Abtötung von Keimen und Unkrautsamen

Abnahme des Risikos von Verätzungen

Abnahme der Geruchsintensität

Die Behandlung von Gülle und Kofermenten in Biogasanlagen stellt keine Lösung des Problems überversorgter Böden in einigen Regionen Nordrhein-Westfalens dar. Vielmehr kann sich bei der Zugabe von stickstoffhaltigen Kofermente (z.B. Speisereste, Abfälle aus der Lebensmittelindustrie) der Stickstoffüberschuss noch vergrößern.

2.8 Klimabilanz

Aus Sicht des Klimaschutzes ist die Nutzung von Gülle und bestimmten Kofermenten zur Gewinnung von Biogas sehr sinnvoll. Auch bei der Umsetzung von Gülle im Boden entstehen, v.a. das klimarelevante Methangas und die geruchsintensiven Amine. Dieser Prozess, der ansonsten relativ unkontrolliert und unter hohen Emissionen bei der Lagerung und Aufbringung von Gülle stattfindet, läuft in Biogasanlagen kontrolliert und in einem geschlossenen System ab. Dadurch lassen sich klimarelevante Methan-Emissionen unterbinden und eine erhebliche Geruchsminderung bei der Aufbringung der behandelten Gärreste erreichen. Die Vergärung von organischen Abfällen und Flüssigmist ermöglicht den Abbau geruchsintensiver Substanzen (flüchtige Fettsäuren, Phenole und deren Derivate) um 40 bis 60 %. Durch die Vergärung im Biogasreaktor werden diffuse Methan-Freisetzen aus unbehandelter Biomasse in die Atmosphäre vermieden und durch die Energieerzeugung aus Biogas fossile Brennstoffe substituiert und damit entsprechende Kohlendioxid-Emissionen eingespart. Bei der Vermeidung klimarelevanter Gase durch die Biogasgewinnung entfallen etwa ein Drittel auf die Substitution fossiler Brennstoffe und zwei Drittel auf die Vermeidung von Methan-Freisetzen. Nach Berechnungen von WINTZER 1996 werden ca. 1,6 bis 1,8 t Kohlendioxid fossilen Ursprungs pro Tonne abgebauter organischer Trockenmasse in Biogasanla-

gen eingespart. Rünzi berechnete die Einsparungen von CO₂ und Methan-Emissionen wie folgt:

Abbildung 14: CO₂-Einsparung durch Biogasstrom je Großvieheinheit und CO₂-Äquivalenten von Methan je Großvieheinheit (RÜNZI 1999)

Parameter	Menge/Einheit
CO ₂ -Emissionen durch konventionellen Strom je kWh	0,63 kg
Stromertrag je m ³ Biogas	2,0 kWh
Eingespartes CO ₂ je m ³ Biogas	1,26 kg
Biogas je GV/Tag	1,50 m ³
CO ₂ -Einsparung je GV/Tag	1,89 kg
CO ₂ -Einsparung je GV/Jahr	690 kg
Biogasertrag je GV und Tag	1,5 m ³
Methanteil im Biogas	60 %
Methan je GV/Tag	0,9 m ³
Methan je GV/Jahr	328,5 m ³
Spez. Gewicht von 1 m ³ Methan	0,715 kg
Methanertrag je GV/Jahr	234,8 kg

3 Rechtliche Rahmenbedingungen und Genehmigungsverfahren

Während der Recherchen zu dieser Studie wurde festgestellt, dass es z.T. erhebliche Unsicherheiten der Betreiber wie auch der Vollzugsorgane bezüglich der Genehmigungsfähigkeit verschiedener Kofermente gibt. Für Biogasanlagenbetreiber und Landwirte, die eine Anlage planen, sind die aktuellen juristischen Vorschriften fast undurchschaubar. Selbst Rechtsexperten halten eine einheitliche Genehmigungspraxis zur Kofermentation in landwirtschaftlichen Biogasanlagen auf der Grundlage der Bioabfallverordnung und der Düngemittelverordnung für nicht eindeutig und wenig abgestimmt. Zu offensichtlich wurde die Bioabfallverordnung vor allem auf die Belange der Kompostierung abgestimmt. Da unseres Erachtens zu einer ökologischen Bewertung von Kofermenten auch ihre grundsätzliche Verwendbarkeit nach geltenden Rechtsvorschriften zählt, wird im Folgenden auf die aktuelle Lage und Hemmnisse bei der Genehmigung von Kofermenten eingegangen.

Mit dem Erlass der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) am 14. Mai 1993 dürfen spätestens zum Jahre 2005 organische Abfälle nicht mehr deponiert werden, sondern müssen einer Verwertung oder Behandlung zugeführt werden. Hierdurch sollen vor allem die Umweltbelastungen durch aus Deponien austretendes Deponiegas (klimarelevant) und die Grundwasserbelastung durch organisch-belastete Sickerwässer reduziert werden.

Ökologisch ist es sinnvoll, Bioabfälle im natürlichen Kreislauf zu halten und auf Flächen zurückzuführen, sofern dabei die Vorgaben der schadlosen Verwertung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes und Abfallgesetzes eingehalten werden. Nach den Vorgaben der TASi kommen ab 2005 nur die Verfütterung, Kompostierung, Vergärung oder Verbrennung der organischen Abfälle in Frage. Viele Bioabfälle sind aber auf Grund ihres hohen Wasseranteils nicht für eine Verbrennung geeignet.

Vor dem Hintergrund der günstigen wirtschaftlichen Voraussetzungen beim Bau und dem Betrieb von Biogasanlagen (Förderprogramme und EEG) ist in den nächsten Jahren mit einer starken Zunahme landwirtschaftlicher Kofermentationsanlagen zu rechnen. Aufgrund der zahlreichen rechtlichen Vorschriften zu Genehmigung und Betrieb von Biogasanlagen, gibt es vor allem Probleme bei der Genehmigung von Biogasanlagen, die organische Abfälle als Kofermente verwerten.

Für die Genehmigung relevant sind vor allem

- Aspekte, die die Kofermente und deren Zulassungsfähigkeit nach Düngemittelrecht bzw. Abfallrecht betreffen
- Hygienische Aspekte
- Schadstoffbelastungen, insbesondere Schwermetalle
- Nährstoffgehalte
- Immissionsschutzrechtliche Belange
- Untersuchungs- und Nachweisverpflichtungen der Anlagenbetreiber

3.1 Abfallrecht

3.1.1 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) bildet die Grundlage für die Regelung der landbaulichen Verwertung von "Abfällen zur Verwertung" (Klärschlämme, Bioabfälle). Mit dem Gesetz werden durch Rechtsverordnung für den Bereich der Landwirtschaft schadstoffbezogene Anforderungen zur Sicherung der ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung bestimmter Abfälle festgelegt. Diese gilt für „Abfälle zur Verwertung als Sekundärrohstoffdünger oder Wirtschaftsdünger“ und für deren Abgabe und Aufbringung auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden. Durch eine solche Verwertung sind diese Abfälle als zulassungspflichtige Düngemittel, neben den abfallrechtlichen auch düngemittelrechtlichen Vorschriften unterworfen (Düngemittelverordnung, Zweite Verordnung zur Änderung düngemittelrechtlicher Vorschriften, Juli 1997).

3.1.2 Klärschlammverordnung

Wird in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage Klärschlamm mitvergoren, gelten für das Aufbringungsmaterial alle Vorgaben der Klärschlammverordnung. Bei den Recherchen ist den Autoren der Studie keine Anlage bekannt geworden, die Klärschlamm vergärt.

3.1.3 Biomasseverordnung

In der Biomasseverordnung (BiomasseV) wird rechtsverbindlich festgelegt, welche Stoffe nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) als Biomasse gelten, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung in den Anwendungsbereich des Gesetzes fallen und welche Umweltauflagen bei der Erzeugung von Strom aus Biomasse einzuhalten sind. Insbesondere wurde Biomasse berücksichtigt, die anderweitig nicht wirtschaftlich zu verwerten und somit auf die Einspeisungsvergütungen aus dem EEG angewiesen ist. Nach der BiomasseV sind zur Erzeugung von Strom zugelassene Biomassen:

1. Pflanzen und Pflanzenbestandteile sowie daraus hergestellte Energieträger deren sämtliche Bestandteile und Zwischenprodukte aus Biomasse erzeugt wurden
2. Abfälle und Nebenprodukte pflanzlicher und tierischer Herkunft aus der Land-, Forst und Fischwirtschaft (z.B. Stroh, Gülle, Mist, Grün- und Strauchschnitt)
3. Bioabfälle nach § 2 Nr. 1 der Bioabfallverordnung (u.a. Bioabfälle aus der Nahrungsmittelverarbeitung oder -herstellung, Küchen- und Kantinenabfälle, Landschaftspflegeabfälle)
4. Aus Biomasse durch Pyrolyse oder Vergasung erzeugtes Gas bzw. Folge- oder Nebenprodukte, Alkohole deren Bestandteile etc.
5. Altholz, Pflanzenmethylester
6. Treibsel aus Gewässer- und Uferpflege und -reinhaltung

7. Biogas aus anaerober Vergärung (max. 10 % Klärschlamm, keine Siedlungsabfälle und Hafenschlick)

Nicht förderbar ist die Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen (Kohle, Mineralöl, Erdgas) einschließlich Neben- und Folgeprodukten, Torf, gemischten Siedlungsabfällen aus privaten Haushalten sowie Papier, Pappe, Karton, Textilien, PCB-, PCT- und quecksilberbelastetes Altholz, Klärschlämme im Sinne der Klärschlammverordnung, Hafenschlick sowie Deponie- und Klärgas.

Weiterhin regelt die BiomasseV, welche Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse verwendet werden können. Hierzu gehören Feuerungsanlagen in Kombination mit Dampfturbinen, Dampfmotor-, Stirlingmotor-, Gasturbinenprozessen, einschließlich Organic-Rancine-Cycle-(ORC-) Prozessen, Verbrennungsmotoranlagen, Gasturbinenanlagen, Brennstoffzellenanlagen und andere Anlagen, mit vergleichbaren technischen Verfahren, die den Klima- und Umweltschutz fördern.

Die BiomasseV war zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Studie noch nicht in Kraft. Strittige Punkte zwischen den an der Gesetzgebung beteiligten Instanzen bestehen vor allem hinsichtlich der Einstufung belasteter Althölzer als nicht anzuerkennende Biomasse. Eine Verabschiedung durch den Bundesrat wird für 2001 erwartet.

3.1.4 Bioabfallverordnung

Die Bioabfallverordnung (BioAbfV) regelt die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. In Anhang 1 der BioAbfV sind die für eine Verwertung auf Flächen grundsätzlich geeigneten Bioabfälle sowie grundsätzlich geeignete mineralische Zuschlagstoffe aufgelistet.

Die BioAbfV findet keine Anwendung

- Bei Biogasanlagen, die ausschließlich Gülle vergären
- Bei der Aufbringung in Haus-, Nutz- und Kleingärten sowie
- der Eigenverwertung von Bioabfällen pflanzlicher Herkunft (z.B. im Landwirtschaftsbetrieb)
- in landwirtschaftlichen Betrieben oder Betrieben des Garten- und Landschaftsbau, wenn die Verwertung unter Beachtung der Beschränkungen und Verbote der Aufbringung auf betriebseigenen Flächen gewährleistet ist („Eigenverwertung“ nach § 2 BioAbfV).
- außerdem gilt die BioAbfV nicht für Stoffe, die nach anderen Rechtsvorschriften entsorgt werden müssen (Klärschlammverordnung, Tierkörperbeseitigungsgesetz, Tierseuchengesetz).

3.2 Düngemittelrecht

Im Gegensatz zum Abfallrecht formuliert das Düngemittelrecht die Voraussetzungen für die „Nützlichkeit“ der Anwendung. Die düngemittelrechtlichen Anforderungen an zulässige Inputstoffe gehen daher über die abfallrechtlichen Anforderungen hinaus. Da sie für das In-

verkehrbringen generell gelten, sind sie nicht, wie die Bestimmungen der BioAbfV, auf den Anwendungsbereich der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft und des Gartenbaus beschränkt.

3.2.1 Düngemittelgesetz

Das Düngemittelgesetz schreibt fest, dass Düngemittel nur nach guter fachlicher Praxis, also nach Art, Menge und Zeit am Bedarf des Bodens und der Pflanzen unter Berücksichtigung der im Boden verfügbaren Nährstoffe und organischen Substanzen sowie den Standort- und Anbaubedingungen orientiert eingesetzt werden dürfen. Darüber hinaus wird durch das Düngemittelgesetz festgelegt, dass Düngemittel vor dem Inverkehrbringen einer *Düngemittelzulassung* bedürfen, die erteilt wird, wenn das Düngemittel einem in der Rechtsverordnung zugelassenen Düngemitteltyp entspricht.

3.2.2 Düngeverordnung

In der Düngeverordnung werden die Inhalte des Düngemittelgesetzes konkretisiert. Neben der Definition der Grundsätze der guten fachlichen Praxis der sachgerechten Düngemittelanwendung im Pflanzenbau unter Berücksichtigung des Umweltschutzes wird der Geltungsbereich für landwirtschaftlich oder gartenbaulich genutzte Flächen festgeschrieben.

3.2.3 Düngemittelverordnung

Die Düngemittelverordnung (DüMV) regelt im Einzelnen, welche Materialien als Düngemittel Verwendung finden können. Unbehandelte oder behandelte Bioabfälle (z.B. Kompost oder Gärrückstände), fallen gemäß der Düngemittelverordnung in die Kategorie der Sekundärrohstoffdünger. Bei entsprechender Eignung und sofern sie den in der DüMV festgeschriebenen Zulassungsvoraussetzungen für Sekundärrohstoffdünger entsprechen (Typenklassifizierung), können Bioabfälle in Verkehr gebracht werden. In Anlage 1 Abschnitt 3a der DüMV wird die Definition der zugelassenen Sekundärrohstoffdünger gegeben. Dort werden auch Angaben zur den Mindestnährstoffgehalten, über zulässige Ausgangsstoffe aus denen der betreffende Sekundärrohstoffdünger hergestellt werden darf sowie zu den typbestimmenden Bestandteilen und der festgelegten Typenbezeichnung (Anlage 1) gemacht.

Darüber hinaus dürfen Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel, die organische Bestandteile enthalten, gewerbsmäßig nur in Verkehr gebracht werden, wenn sie hygienisch unbedenklich sind. Im übrigen gelten für Materialien nach der DüMV folgende Vorgaben:

- Zur Herstellung von Düngemitteln dürfen nur Stoffe eingesetzt werden, deren Zugabe einen pflanzenbaulichen, produktions- oder anwendungstechnischen Nutzen erbringt und die in der DüMV aufgeführten Liste der zugelassenen Ausgangsstoffe aufgeführt sind.
- Die Schadstoffgrenzwerte der AbfKlärV (für Klärschlämme) bzw. der BioAbfV (für Bioabfälle) müssen von den Ausgangssubstanzen eingehalten werden. Eine weitere Erhöhung der Schadstoffgehalte durch die Herstellung zum Düngemittel darf nicht eintreten.

- Für Sekundärrohstoffdünger müssen zusätzlich zu den für alle Düngemittel obligatorischen Angaben, der Gehalt an organischer Substanz (Glühverlust) sowie die zur Herstellung eingesetzten Stoffe angegeben werden.

3.3 Weitere Regelungen

3.3.1 Bundes-Immissionsschutzgesetz

Biogasanlagen (als Abfallbehandlungsanlagen) unterliegen genehmigungsrechtlich dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) oder, wenn es sich um kleine Anlagen handelt, dem Baurecht gemäß Baugesetzbuch (BauGB). Neben den zulässigen Inputstoffen wird mit der Genehmigung häufig auch verfügt, welche produktbezogenen Anforderungen an die Hygiene und andere Qualitätsparameter der Anlage zu stellen sind sowie, welche Immissionsbestimmungen beim Betrieb des BHKW eingehalten werden müssen. Damit eine Überwachung gewährleistet werden kann, wird in der Regel die Führung eines Betriebstagebuches über die angenommenen Abfälle sowie den Verbleib der Gärreste verlangt.

Der Genehmigungsbescheid ist für den Anlagenbetreiber ungeachtet sämtlicher anderer Regelungen bindend und wird weder durch die BioAbfV noch durch die DüMV erweitert.

Eine Genehmigungspflicht nach BImSchG (4. BImSchV, vom 20. April 1998) besteht, wenn

- a. die Verbrennungsmotoranlage eine Feuerungswärmeleistung von über 350 Kilowatt aufweist,
- b. 10 Tonnen oder mehr überwachungsbedürftige Abfälle pro Tag behandelt werden oder
- c. 100 Tonnen oder mehr überwachungsbedürftige Abfälle gelagert werden.

Die Errichtung und der Betrieb von Biogasanlagen, die eine Feuerungswärmeleistung von 350 kW nicht überschreiten, sind nach den Vorschriften des Baurechts (jeweilige Landesbauordnung) genehmigungspflichtig. Bislang erreichten die Blockheizkraftwerke (BHKW) in landwirtschaftlichen Biogasanlagen die Kapazitätsbegrenzung von 350 kW nur in Ausnahmefällen und unterliegen dementsprechend nicht der Zulassung nach BImSchV, sondern werden nach dem BauGB überprüft. Die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit beurteilt sich nach § 35 BauGB, wenn die Anlage im Außenbereich errichtet werden soll. Das Vorhaben kann nach § 35 Abs. 1 BauGB als privilegiertes Vorhaben einzustufen sein, wenn die Anlage einem land- oder forstwirtschaftlichen Betrieb dient und nur einen untergeordneten Teil der Betriebsfläche einnimmt.

Während in der Vergangenheit hauptsächlich Anlagen mit Kapazitäten von 50 kW elektrisch erstellt wurden, geht derzeit der Trend hin zu Anlagen von 100-150 kW (elektrisch), womit die Gesamtkapazitätsgrenze von 350 kW, die von einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung befreit, erreicht wird.

Der Gehalt an Schadstoffen im Biogas ist entscheidend für den Ausstoß klima- und umweltrelevanter Schadstoffe des BHKW. Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) hat eine entsprechende Untersuchung von Biogas aus Mono- und Kofermentation auf die Schadstoffe Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol und Cumol, Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie Chlor, Fluor und Mercaptanen durchgeführt. Neben den vier Hauptkomponenten Methan (CH_4), Kohlendioxid (CO_2), Stickstoff und Sauerstoff enthält Biogas den Schadstoff Schwefelwasserstoff (H_2S) in relevanten Mengen. Im Biogas enthaltenes H_2S verkürzt die Lebensdauer der BHKW-Motoren und Katalysatoren und führt zu Emissionen von Schwefeldioxid (SO_2). Die Verwendung von entsprechenden Entschwefelungseinrichtungen führen jedoch zu einer hinreichenden Reduktion dieses Schadstoffes. Für alle anderen Substanzen wurden meist Konzentrationen unter der Nachweisgrenze ermittelt. Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz zog daraus die Schlussfolgerung, dass es die ermittelten geringen Verunreinigungen emissionsrelevanter Stoffe im Biogas keinen Anlass geben, eine immissionschutzrechtliche Genehmigungspflicht unabhängig von der Motorleistung zu fordern (LfU 2000)

Für Anlagen, die eine Feuerungswärmeleistung von 350 kW überschreiten, ist die Genehmigung nach BImSchG vorgeschrieben. Grundsätzlich haben im Rahmen der Zulassung eine Abnahmemessung und zwei Wiederholungsmessungen zu erfolgen, in der u.a. der Kohlenmonoxid- (CO) und Stickoxid- (NO_x) Ausstoß festgestellt werden. Um die geforderten Werte der NO_x -Emissionen des BHKW (meist Diesel-Zündstrahlmotoren) der Biogasanlage einzuhalten, wäre der Einbau eines sogenannten Oxidations-Katalysators (Oxi-Kat) erforderlich. Erfahrungen in der Praxis haben jedoch gezeigt, dass der Katalysator häufig bereits nach wenigen Wochen verbraucht ist. Für den Dauerbetrieb mit Oxi-Kat wird allgemein ein Grenzwert von 20 mg/N/m^3 (13 ppm) gefordert, der aber von den meisten Anlagen v.a. mit Kofermentation nicht eingehalten werden kann.

Unter Umständen reicht bereits der Schwefelgehalt des Zündöls oder der Rußanteil im Abgas aus, um einen Ausfall des Katalysators zu bewirken. In der Folge wird außerhalb der Messungen im laufenden Motorenbetrieb meist auf den Katalysator verzichtet. Bei Verwendung eines Oxi-Kat in ein Biogas-BHKW besteht in den Betriebsjahren zwischen den Wiederholungsmessungen immer das Risiko eines unbemerkten Katalysatorausfalls. Daher sollten motorseitige Maßnahmen zur Emissionsminderung bevorzugt werden. Im praktischen Betrieb führen Maßnahmen (Einstellungen des Motors), die die NO_x -Emissionen reduzieren automatisch zu einer Erhöhung der ausgestoßenen CO -Menge. Dieses allgemein bekannte Problem kann mit den derzeit auf dem Markt verfügbaren Motoren nicht gelöst werden, da diese Motoren für andere Zwecke (Fahrzeugbau etc.) entwickelt und nicht für die Verwendung von Biogas optimiert wurden. In diesem Punkt besteht seitens der Motorenhersteller Entwicklungsbedarf. Das Emissionsproblem wäre durch ein entsprechendes Angebot kleinerer Gasmotoren mit hohem Wirkungsgrad zu akzeptablen Preisen zu lösen (ENERGIETAGE 2000).

Zwischen der eingesetzten Zündölmenge und den Stickstoffemissionen besteht ein linearer Zusammenhang. Je nach Bauart der Motoranlage, der Einstellung und dem Zündölanteil ergeben sich Emissionen von Stickstoffoxiden (240 bis 1.125 mg/m^3) und Kohlenmonoxid (709 bis 3.120 mg/m^3), die die Emissionswerte der TA Luft überschreiten können (BUNDESRAT

1998). Zündstrahlmotoren erreichen höhere elektrische Wirkungsgrade von bis zu 37 %. In der Regel läuft das BHKW über 24 Stunden am Tag und erreicht Gesamtlaufzeiten von ca. 15.000 bis 20.000 Betriebsstunden, ohne dass wesentliche Störungen auftreten.

3.3.2 Tierkörperbeseitigungsgesetz

Nach dem Tierkörperbeseitigungsgesetz müssen Tierkörperreste und Erzeugnisse, die im gewerblichen Bereich in Form von Küchenabfällen und Fettrückständen anfallen grundsätzlich der Tierkörperbeseitigung zugeführt werden. Dies gilt auch für Tierbestandteile der Lebensmittelherstellung. Die Genehmigungsbehörden können Ausnahmegenehmigungen, sofern der Grundsatz der „unschädlichen Beseitigung“ gewahrt bleibt, zur Kofermentation in Biogasanlagen unter Auflagen aussprechen.

3.3.3 Abwasserrecht

In landwirtschaftlichen Biogasanlagen fällt grundsätzlich kein Abwasser an, da die gesamten Gärreste nach einer Zwischenlagerung auf den landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht oder als abgepresster Feststoff und flüssiger Gärrest in der Landwirtschaft verwendet werden.

Die Gülle- und Gärrestlagerung müssen die einschlägigen Vorschriften hinsichtlich Dichtigkeit des Auffangbehälters und Grundwasserschutz erfüllen. Bei Störfällen oder Betriebsabbruch des Gärungsprozesses wird die Anlage in der Regel nicht entleert, sondern mit dem enthaltenen Substrat erneut angefahren. Eine Entnahme des Substrates ist nur bei Reparaturen (z.B. der Fermenterheizung oder Teilen des Rührwerks) notwendig. Hier kann das Substrat in den Güllebehälter zurückgepumpt werden, so dass Abwässer, die in den Boden oder in das Grundwasser gelangen könnten, bei fachgerechter Handhabung nicht entstehen.

Häusliche Abwasser aus landwirtschaftlichen Betrieben gelten nicht als Bioabfall. Daher kann eine gemeinsame Vergärung von häuslichem Abwasser und Wirtschaftsdünger erfolgen und das Substrat nach guter fachlicher Praxis zur Düngung verwendet werden.

3.4 Abfallrecht versus Düngemittelrecht

Die unterschiedlichen Rechtsziele der für die Kofermentation relevanten abfallrechtlichen Bestimmungen auf der einen und die düngemittelrechtlichen auf der anderen Seite stellen sowohl die Genehmigungsbehörden wie auch die Antragsteller vor schwierige Aufgaben. Zum einen muss den Rechtsvorschriften Rechnung getragen werden, zum anderen soll die Gewinnung von Biogas aus bestimmten organischen Abfällen nicht unmöglich werden.

3.4.1 Ziele der BioAbfV und der DüMV

Die Bioabfallverordnung (BioAbfV) und die Düngemittelverordnung (DüMV) widersprechen sich in wichtigen Aspekten für den Einsatz von Kofermenten. Während die in ihren Zielen auf dem Kreislaufwirtschaftsgesetz basierende BioAbfV den Schutz von Wasser, Boden und Luft zur Aufgabe hat, soll die DüMV die Qualität der Düngemittel und der daraus erzeugten

Produkte gewährleisten. Dementsprechend weisen die Listen der zulässigen Sekundärrohstoffdünger der entsprechenden Verordnungen (Sekundärrohstoffdünger: Stoffkatalog Anhang 1 BioAbfV und DüMV Anhang 1, Abschnitt 3a) Unterschiede auf, die in einigen Fällen nicht einsichtig sind.

Wenn in der Kofermentation Ausgangsstoffe eingesetzt werden, die nicht in der Düngemittelverordnung als Sekundärrohstoffdünger (Spalte 5 Abschnitt 3a der DüMV) zugelassen sind, entsprechen die Gärreste keinem zugelassenen Düngemitteltyp und dürfen nicht in Verkehr gebracht werden. Für den Anlagenbetreiber bedeutet dies, dass ein Bioabfall nach BioAbfV zwar kofermentiert, aber aufgrund der fehlenden Typenzulassung nach Düngemittelrecht nur auf eigenen Flächen ausgebracht werden darf. Dies betrifft vor allem die Kofermentation von Fetten und Speiseabfällen mit hohen Gasbildungspotenzialen, die nicht in der Typenzulassung der DüMV enthalten sind.

Somit sind die düngemittelrechtlichen Anforderungen an zulässige Ausgangsstoffe bei der Vermarktung von Gärresten entscheidend. Weil jedoch die in Spalte 5 des Anhangs 1 Düngemittelverordnung benannten Stoffgruppen weder in ihrer Definition, noch in ihrer Abgrenzung mit den Begrifflichkeiten und Schlüsselnummern des Genehmigungsbescheides oder der Liste Anhang 1 BioAbfV vergleichbar sind, ist ein Abgleich zwischen den Listen in vielen Fällen nicht möglich.

3.4.2 Unterschiede bei der Zulassung

Eine weitere Diskrepanz zwischen BioAbfV und DüMV besteht darin, dass eine abfallrechtliche Zulassung einer Substanz im Einzelfall direkt von der entsprechenden Behörde ausgesprochen werden kann. Eine entsprechende Zulassung der gleichen Substanz nach dem Düngemittelrecht kann jedoch nicht im Einzelfall erfolgen, sondern kann nur über eine langwierige Novellierung der DüMV erreicht werden. In der Konsequenz ist es dem Betreiber nicht möglich an sich geeignete Substanzen anzunehmen, da keine Möglichkeit besteht, in vertretbarer Zeit eine Zulassung zum Inverkehrbringen nach DüMV zu erhalten. Die Bundesgemeinschaft Kompost e.V. schlägt daher vor, in der angekündigten Novelle der DüMV dem Beispiel der BioAbfV zu folgen und entsprechende Checklisten von geeigneten Ausgangsstoffen für die Vergärung zu erstellen (BGK 2000).

3.4.3 Ausnahmeregelungen

Die fehlende Abstimmung der Verordnungen ist auch dem Gesetzgeber bekannt. Eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe hat die „Hinweise zum Vollzug der Bioabfallverordnung“ erarbeitet. Dort wird u.a. festgestellt, dass eine Harmonisierung zwischen BioAbfV und DüMV bezüglich der jeweils zulässigen Ausgangsstoffe nicht erreicht werden konnte. Die unterschiedliche Bewertung resultiert einerseits aus der nach dem Abfallrecht zu erreichenden Vorsorgeanforderungen (Hygiene, Schadstoffe), andererseits aus der für das Düngemittelrecht erforderlichen Eignung des Ausgangsstoffes für einen Sekundärrohstoff und der Erkennbarkeit des zu erzielenden Nutzens des eingesetzten Stoffes. „Für eine Verwertung nach der Verordnung“ so die Anlage 4 der Hinweise zum Vollzug (Checklisten zur Prüfung von Bioabfällen

bezüglich Qualitätsparametern und Nutzwert) „sollen (von der Behörde) nur solche Bioabfälle zugelassen werden, deren Verwertung einen Nutzen darstellt.“

Aufgrund zahlreicher Anfragen von Betreibern von Kofermentationsanlagen in den letzten zwei Jahren beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML) zur Zulassung von Gärresten mit anderen als den bisher in Spalte 5 DüMV genannten Ausgangsstoffen als Düngemitteltyp, wurde mit einer Neufassung der Liste der Sekundärrohstoffdünger bereits in 2000 gerechnet (KTBL 2000c). Bislang liegt diese Neufassung nicht vor.

Offensichtlich wurde die BioAbfV vor allem zur Regelung der Kompostierung von Bioabfällen erarbeitet. Dies ist u.a. daran zu erkennen, dass außer auf die Begriffsbestimmung und einer Auflistung von ausschließlich für die anaerobe Behandlung geeigneter Bioabfälle in Anhang 1 inhaltlich nicht auf die anaerobe Vergärung eingegangen wird. Da sich aber Kompostierung und Vergärung in vielerlei Hinsicht unterscheiden, werden Regelungen, die für die Kompostierung sinnvoll erscheinen, den Anforderungen an zur Vergärung bestimmten Abfällen nicht gerecht. Ein Vorschlag zur Beendigung dieses Missstandes ist, der DüMV einen eigenständigen Typenkatalog für zugelassene Sekundärrohstoffe aus Vergärungsprozessen hinzuzufügen (DüMV Anlage 1 Abschnitt 3a). Die Typisierung der zuzulassenden Kofermente sollte sich dabei sinnvollerweise am Output orientieren (Düngenutzen, Nährwert, Schadstofffreiheit).

3.4.4 Beschränkung der zur Vergärung zugelassenen Kofermente

Neben den aus den zwei unterschiedlichen Schutzzielen der BioAbfV und der DüMV resultierenden Zulassungskonflikten, sind bestimmte Stoffe durch die im § 2 der BioAbfV gegebene Begriffsdefinition für Bioabfall von der Verwendung in der Kofermentation ausgeschlossen. Und dies, obwohl sie in der Vergärung in kurzer Zeit vollständig abgebaut und dementsprechend weder im Fermenter noch im Gärrückstand nachweisbar sind und somit die Gärreste nicht (negativ) beeinflussen. Zugleich tragen sie aber dazu bei, die Gasausbeute in Biogasanlagen erheblich zu erhöhen. Grund für diesen Umstand ist, das nach § 6 Abs. 2 der BioAbfV nur Ausnahmen für Bioabfälle erteilt werden können, die der in § 2 gegebenen Definition von Bioabfällen entsprechen. Demnach sind *Bioabfälle: Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft zur Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können; hierzu gehören insbesondere die in Anhang 1 Nr. 1 genannten Abfälle; Bodenmaterial ohne wesentliche Anteile an Bioabfällen gehört nicht zu den Bioabfällen; Pflanzenreste, die auf forst- oder landwirtschaftlich genutzten Flächen anfallen und auf diesen Flächen verbleiben, sind keine Bioabfälle.*

Daraus folgt, dass z.B. Alkohol-Wassergemische (neben vielen anderen Abfällen zur Verwertung durch Methanisierung) aus der Behälterreinigung der Lebensmittelindustrie der Verwertung durch Anaerobbehandlung in Biogasanlagen nicht zugänglich sind, obwohl stofflich und düngetechnisch unbedenklich und als Energieträger zur Methanisierung hervorragend geeignet.

3.5 Anforderungen an die Prozessführung und Hygiene

Für Biogasanlagen, in denen organische Abfälle vergärt werden, schreibt die BioAbfV zum Nachweis der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit regelmäßige Produktprüfungen und direkte und indirekte Prozessprüfungen vor (§ 3 BioAbfV, sowie Anhang 2 Bio-AbfV).

3.5.1 Genehmigungsvorgaben: Direkte Prozessprüfung

Nach § 3 Abs. 1 der BioabfV haben Entsorgungsträger, Erzeuger und Besitzer von Bioabfällen diese vor einer Aufbringung oder der Herstellung von Gemischen so zu behandeln, dass die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit gewährleistet ist. Hierzu ist für jede Anlage vorgeschrieben:

- a) eine **direkte Prozessprüfung**, die den hygienischen Wirkungsgrad der Anlage ermittelt. Dabei werden in den Prozess Testorganismen eingeführt und kontrolliert, ob in der Anlage eine hinreichende Inaktivierung erreicht werden kann.
- b) eine **indirekte Prozessprüfung**. Durch fortlaufende Temperatur- und pH-Wert-Messungen in den Behandlungszonen der Anlage werden die zur Abtötung von tierischen und pflanzlichen Erregern, keimfähigen Samen sowie austriebsfähigen Pflanzenteilen notwendigen Prozessbedingungen überprüft.
- c) die regelmäßige **Endproduktprüfung** der behandelten Bioabfälle.

Die Überwachung der Seuchen- und Phytohygiene durch die in der BioabfV vorgesehene direkte Prozessprüfung stellt ein weiteres Problem bei der Genehmigung von Kofermentationsanlagen dar. Bislang gibt es keine Methode, die in allen Kofermentationsanlagen angewendet werden könnte. So sind die zu Untersuchungszwecken einzubringenden Prüfkörper schwer wieder auffindbar, je nach Ausstattung der Anlage (Pump- und Rührwerke) droht gar ihre Zerstörung im Reaktor. Eine Sondentechnik, wie sie in Kompostierungsanlagen eingesetzt wird, ist nicht verfügbar und Testkeime und Prüf samen existieren bislang nicht in geeigneter Reinzucht. Zudem birgt das (zu Testzwecken vorsätzliche) Einbringen von Keimträgern das Risiko der Fermenterverkeimung. Schließlich ist das Öffnen der Fermenter unter Gasphase sicherheitstechnisch problematisch. Dementsprechend ist es für die meisten Anlagenbetreiber unmöglich den Nachweis aus der direkten Prozessprüfung zu erbringen. Des Weiteren ist mit Kosten in Höhe von 15.000-40.000 DM zu rechnen. Vor allem für kleinere landwirtschaftliche Kofermentationsanlagen dürften diese Kosten die Rentabilität der Anlage in Frage stellen.

Dementsprechend räumt der Gesetzgeber Ausnahmen von diesen, für die Anlagenbetreiber kostspieligen und bezogen auf die direkte Prozessprüfung teilweise nicht durchführbaren Untersuchungspflichten ein, sofern keine hygienischen Probleme zu erwarten sind.

Abbildung 15: Durchführung der hygienischen Überprüfung von Klein-Anaerobanlagen, in denen Bioabfälle gem. Anhang 1 (mit)verwertet werden

Hygieneprüfung	Einzelbetriebliche Anlage Verwertung auf eigenen Flächen	Einzelbetriebliche Anlage Verwertung auf Fremdflächen	Gemeinschaftsanlage Verwertung auf eigenen Flächen	Gemeinschaftsanlage Verwertung auf Fremdflächen
Direkte Prozessprüfung	kann verzichtet werden	kann verzichtet werden ¹⁾	kann verzichtet werden	kann verzichtet werden ¹⁾
Indirekte Prozessprüfung	erforderlich	erforderlich	erforderlich	erforderlich
Endprüfungen der behandelten Bioabfälle (Produktprüfung)	erforderlich	erforderlich	erforderlich	erforderlich
„Input- / Outputkontrollen“	erforderlich ²⁾	erforderlich ²⁾	erforderlich ²⁾	erforderlich ²⁾
Lagerung zur „Selbstentseuchung“	akzeptabel	nicht akzeptabel	nicht akzeptabel	nicht akzeptabel

¹⁾ Gleichbehandlung von Wirtschaftsdüngern und biologischen Abfällen in thermophiler Stufe oder separater Erhitzungseinrichtung

²⁾ „Input- / Outputkontrollen“: nur bei Verzicht auf direkte Prozessprüfung erforderlich

Bei der Verwertung von Stoffen nach Ausnahmezulassung gem. TierKBG sind die weiteren Auflagen und Bedingungen gem. § 8 Abs. 4 TierKBG zu beachten

Für Kleinanlagen werden bestimmte Ausnahme bei der Genehmigung eingeräumt. Bei den im Rahmen dieser Studie erfassten Anlagen handelt es sich überwiegend um Kleinanlagen. Bei der Verwendung des Begriffs Kleinanlagen besteht ein Ermessensspielraum, da er in der BioAbfV nicht näher definiert wurde. In der Praxis wird meist von Anlagen mit täglicher Kofermentzugabe von maximal 10 t ausgegangen. So wird in „Hinweise zum Vollzug der BioAbfV“ darauf hingewiesen, dass bei kommunalen Klein-Anaerobanlagen und landwirtschaftlichen Klein-Kofermentationsanlagen ein Verzicht auf die direkte Prozessprüfung vertretbar erscheint, sofern die Ergebnisse der indirekten Prozessprüfung (Temperaturkontrolle im Material) und der Endprüfungen der behandelten Bioabfälle (Produktprüfung) sowie der kontinuierlichen Überprüfung der Materialien (Input-/Outputkontrollen) berücksichtigt werden.

Für größere Anlagen besteht die Möglichkeit die Fristen für die Durchführung einer direkten und indirekten Prozessprüfung bei landwirtschaftlichen Kofermentationsanlagen zu verlängern, um die Ergebnisse laufender Forschungsvorhaben (Universität Hohenheim, Plancotec,

KTBL) abzuwarten und darauf basierend, an die Kofermentation angepasste Prüfverfahren festzulegen. Als Übergangslösung könnten in Abhängigkeit von den eingesetzten Kofermenten und vom Fermentationsverfahren (mesophil oder thermophil, Ein- oder Zweistufigkeit, Speicher- oder Durchflusssystem) Vorbehandlungen festgelegt und Ausnahmegenehmigungen nach § 3.3 erteilt werden (KTBL 2000c). Nach Angaben des Fachverbandes Biogas wurde das Vorhaben ein Hygiene-Baumuster-Prüfsystem zu entwickeln, anhand dessen Hygienezulassungen für Anlagen ähnlichen Bautyps zu erlassen sind, inzwischen eingestellt.

3.5.2 Forschungsergebnisse

Wissenschaftliche Untersuchungen zum Verhalten von Tierseucherregeren und Indikatorkeimen in der Kompostierung und der Anaerobbehandlung wurden in dem Verbundforschungsvorhaben der Bundesforschungsanstalt für Viruserkrankungen der Tiere in Tübingen und dem Institut für Umwelt- und Tierhygiene der Universität Hohenheim, mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten durchgeführt. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde u.a. untersucht, ob der Biogasprozess eine mikrozide Wirkung aufweist und inwieweit eine Inaktivierung der untersuchten Erreger erreicht werden kann. Als geeigneter Indikatororganismus zur Untersuchung der hygienischen Inaktivierung von relevanten Tierseucherregeren und fast allen Bakterien- und Virenarten in Vergärungsverfahren hat sich das Parvovirus erwiesen (MARTENS ET AL. 1999).

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bei *mesophiler* Betriebstemperatur von 30°C ist eine signifikante Reduktion der untersuchten Bakterien und Viren zu verzeichnen. Die dazu notwendige Verweildauer ist jedoch zu lang, um (v.a. unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten) in der Praxis ein seuchenhygienisch einwandfreies Endprodukt zu gewährleisten.
- Demgegenüber läßt sich feststellen, dass bei einer Betriebstemperatur im *thermophilen* Bereich von 53°C und einer Verweildauer von 22-24 Stunden eine ausreichende Inaktivierung sicher gegeben ist, so dass auf eine Vorerhitzung bei thermophilen Anlagen (bei sachgerechter Prozessführung) oberhalb von mehr als 50°C aus hygienischer Sicht (z.B. Speiseabfälle) verzichtet werden kann. Bei einer störungsfreien Prozessführung ergibt sich ein ausreichend großer Sicherheitsspielraum in der Inaktivierung von Tierseucherregeren sowie Bakterien und Viren (PHILIPP/MARTENS 2000 u. PHILIPP 2000A).

Das *bovine Parvovirus* erwies sich im Rahmen der Untersuchungen unter thermophilen Bedingungen als der stabilste der verwendeten Indikator-Organismen. Der Infektionstiter konnte zwar binnen 24 Stunden um 3,5 Zehnerpotenzen vermindert werden, eine vollständige Inaktivierung des Virus konnte jedoch innerhalb 48 Stunden nicht erreicht werden. Dennoch sprechen sich die Wissenschaftler gegen die Forderung einer vollständigen Inaktivierung bei der Anaerobbehandlung aus. Zum einen erfolgt der Eintrag der Viren üblicherweise durch Schweinegülle, deren unbehandelte Aufbringung auf landwirtschaftliche Flächen zulässig ist, aber gegenüber anaerob behandelter Gülle einen 2-3fach höheren Virentiter aufweist. Zudem ist dieses Virus bereits endemisch vorhanden und wird nicht erst durch Ver-

gärungsprozesse verbreitet. Demgegenüber werden Tierseuchenerreger kritischer bewertet, da sie durch Kofermente mit den Resten tierischer Gewebe in die Gülle eingetragen werden könnten (PHILIPP/MARTENS 2000).

Der aktuelle Kenntnisstand über die Wirksamkeit der Inaktivierung von Phytopathogenen wird nicht als ausreichend angesehen, um abschließende Aussagen treffen zu können. Dies trifft insbesondere auf das Überleben des Tabakmosaikvirus (TMV) (einer von drei Testorganismen der phytohygienischen Unbedenklichkeit in Anaerobanlagen) zu. Der TMV-Titer wird bei Pasteurisierungstemperaturen von 70°C für eine Stunde nur unzureichend reduziert. Laufende Untersuchungen sollen Datenlücken schließen und dazu beitragen eine sichere Bewertung vornehmen zu können. Bis zum Abschluss der Untersuchungen wird von Seiten der Universität Hohenheim empfohlen, dass die zuständigen Behörden prüfen, ob sie nach bestandenen Hygieneprüfungen Ausnahmezulassungen für die landwirtschaftliche Verwertung entsprechender Gärreste aussprechen können (Philipp/Martens 2000).

Werden in den Gärresten *Salmonellen* nachgewiesen, ist zu prüfen, ob die Salmonellen-Infektion durch nicht adäquat behandelte Bioabfälle oder durch die unbehandelten Wirtschaftsdünger verursacht wurden. Kann ihre Herkunft auf die Wirtschaftsdünger zurückgeführt werden, so kann nach heutigem Kenntnisstand nur eine Konzentration bei sporadischen Befunden von weniger als 10² KBE/g Substrat toleriert werden. Als geeignete Maßnahme ist in diesem Fall die Lagerung zur sogenannten Selbstentseuchung zu empfehlen, also eine dreimonatige Lagerung der Gärreste sowie eine Wartezeit von einem Monat nach der Ausbringung auf Grünland und die sofortige Einarbeitung in das Ackerland. Bei der Aufbringung auf Dauergrünland sowie Feldfutter- und Feldgemüseanbauflächen dürfen in einem Zeitraum von drei Jahren entweder nur Gärreste oder Klärschlamm aufgebracht werden.

3.5.3 Tierische Abfälle

Unsicherheiten herrschen bei der Entsorgung tierischer Abfälle über Biogasanlagen (Schlachtabfälle, Speiseabfälle mit Fleischanteil). Lediglich Küchen- und Kantinenabfälle gelten als Bioabfälle nach Anhang 1 BioAbfV, die auch vom Tierkörperbeseitigungsgesetz (TierKBG) erfasst werden (Erzeugnisse, die von Tieren stammen § 1 Abs. 1 Nr. 3 TierKBG). Mit Ausnahmegenehmigung nach § 8 Abs. 2 TierKBG können sie eingesetzt werden, sofern dabei die Anforderungen an die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit der Materialien (Anhang 2 BioAbfV) eingehalten werden. Die zu berücksichtigenden Auflagen betreffen nicht nur die Behandlung des Materials (Hygienisierung bei mindestens 70°C für mindestens eine Stunde bei einer Korngröße < 1cm), sondern auch die anschließende Verwertung. So darf das ausgefaulte Material nicht verfüttert, sondern nach Einhaltung entsprechender Wartezeiten (nach Ende der Vergärung 30 Tage vor Aufbringung, nach Aufbringung 30 Tage keine Beweidung) nur auf Ackerland verwertet werden.

Viele Behörden fordern für Kofermentationsanlagen die gleichen Kriterien, die bei Tierkörperbeseitigungsanlagen (TKBA) eingehalten werden müssen (u.a. Abwesenheit von *Clostridium perfringens*). In der Praxis bedeutet dies, dass die entsprechenden Kofermente autoklaviert, d.h. einer Erhitzung auf 121°C unter Druck unterzogen werden müssen. Aus seuchenrechtlicher Sicht halten dies viele Experten (Dr. Philip, Universität Hohenheim/Prof. Lücke

Fachhochschule Fulda) für weder notwendig noch sachgerecht. Auf europäischer Ebene wird jedoch derzeit diskutiert, das EU-Recht angesichts der BSE-Krise in diese Richtung zu modifizieren.

Bei Anlagen zur Kofermentation von Bioabfällen besteht, sofern diese nicht eine hydraulische Verweilzeit im Reaktor von mindestens 20 Tagen, eine 24stündige zusammenhängende Verweildauer bei einer Prozesstemperatur von mindestens 55°C erreichen, entsprechend der Vorgaben der BioAbfV zur Gewährleistung der hygienischen Unbedenklichkeit (Anhang 2 Ziff. 2.1 Unterabs. 2 S.1) die Pflicht zur Vorbehandlung der Bioabfälle (Pasteurisierung 70°C, eine Stunde). Diese Vorgaben erreichen im praktischen Betrieb nur Anlagen, die nicht kontinuierlich beschickt werden und damit nicht mehr dem Stand der Technik von Biogasanlagen entsprechen.

3.6 Schwermetallgehalte von Kofermenten und Wirtschaftsdünger

Die Belastung landwirtschaftlicher Böden mit Schwermetallen stellt ein schwerwiegendes Problem für die Umwelt und die menschliche Gesundheit dar. Sowohl die BioAbfV als auch die AbfklärV schreiben für die Aufbringung von Gärresten bzw. Klärschlämmen auf landwirtschaftliche Flächen Grenzwerte fest. Da Schwermetalle im Biogasprozess nicht abgebaut, sondern durch den Abbau der organischen Trockenmasse aufkonzentriert werden, ist die Qualität der Gärreste (Outputs) direkt abhängig von der Belastung des Input. Zur Sorgfaltpflicht der Betreiber von Biogasanlagen gehört es deshalb, sich von der Beschaffenheit, Eignung und Schadstoffbelastung der eingesetzten Kofermente zu überzeugen.

Die Inputmaterialien von Vergärungsanlagen dürfen nach der Betriebsgenehmigung Schwermetallgehalte aufweisen, die denen der Bioabfallverordnung bei Ausbringung von Bioabfällen entsprechen. Die Konzentrationen der Inputmaterialien werden in mg/kg oTS (organische Trockensubstanz) angegeben. Die in der BioabfallV festgeschriebenen Grenzwerte für die Ausbringung beziehen sich jedoch auf die gesamte Trockensubstanz (TS). Durch den anaeroben Abbau von oTS im Fermenter der Anlage wird auch die Konzentration der gesamten TS (> 50%) reduziert ohne die Schwermetallfracht zu ändern. Dies bedeutet eine Verdopplung der Schwermetallkonzentrationen bezogen auf die Trockenmasse. Dieser Sachverhalt kann dazu führen, dass bei Einhaltung der Eingangsbedingungen die Gärreste nicht aufgebracht werden dürfen. Verstärkt wird dieser Effekt, wenn die Gärreste als Verdünnungsmedium beim Einsatz neuer Substrate eingesetzt werden und es dadurch zu einer Anreicherung von Schwermetallen im System kommt. Bei Überschreitung der Grenzwerte kann eine landwirtschaftliche Verwertung nicht mehr gesichert werden und nur durch eine Ausnahmegenehmigung erfolgen.

Abbildung 16: Maximal zulässige Schwermetallkonzentrationen für Bioabfälle (mg/kg TS) in Abhängigkeit von der Ausbringungsmenge (t) (BioAbfV § 4 Abs. 3, 1998)

Schwermetall	Ausbringungsmenge max. 20 t TS Bioabfälle in 3 Jahren	Ausbringungsmenge max. 30 t TS Bioabfälle in 3 Jahren
Blei	150	100
Cadmium	1,5	1
Chrom	100	70
Kupfer	100	70
Nickel	50	35
Quecksilber	1	0,7
Zink	400	300

Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen dürfen demnach unbeschadet düngemittelrechtlicher Regelungen innerhalb von drei Jahren nicht mehr als 20 Tonnen Kofermente (behandelte Bioabfälle bezogen auf die Trockenmasse) je Hektar ausgebracht werden. Werden die Schadstoffgehalte gemäß *Abbildung 16* unterschritten, kann die Ausbringungsmenge auf 30 Tonnen je Hektar innerhalb von drei Jahren erhöht werden.

Abbildung 17: Prüfumfang für Gärprodukte (Wirtschaftsdünger mit Kofermentation oder reiner Bioabfall) (DÖHLER/BAUER 2000)

	Teilanalyse	Vollanalyse
Analysenparameter	<ul style="list-style-type: none"> • TS, OS • Gesamt-N, NH₄⁺ • Bas. Wirks. Bestandteile als CaO • P,K (ges. + lösl.) • Vergärungsgrad • Seuchen- + Phytohygiene • Kupfer, Zink 	<ul style="list-style-type: none"> • siehe Teilanalyse • pH-Wert • Dichte • Salz • Störstoffe • Schwermetalle • Pflanzenverträglichkeit
Probenzahl/Jahr Inputabhängig ^{1) 2)}	<ul style="list-style-type: none"> • 6 (≤ 3.000t Input/a) • 6 + 1 je weitere 1.000 t (3000 t < Input/a ≤ 6.500) • 12 + 1 je weitere 3.000 t Input/a (> 6.500 t Input/a) 	Je angefangene 2.000 t Input
Mindestzahl	6	4
Höchstzahl	Ohne Begrenzung	12
Probenintervall	Gleichmäßig übers Jahr verteilt	
Erläuterung:	1) Anlageninput = Summe aller Ausgangsstoffe 2) je angefangene 1.000/3.000 t/a über der Mindestgrenze	

Eine Prüfung der behandelten Bioabfälle hat mindestens alle 6 Monate (§3 Abs. 7) zu erfolgen. Bioabfallbehandler sind verpflichtet je angefangene 2.000 t (Frischmasse), mindestens jedoch im vierteljährlichen Abstand, die Schwermetallgehalte, den pH-Wert, den Salzgehalt und den Gehalt der organischen Substanz, den Trockenrückstand und den Anteil an Fremdstoffen im behandelten Bioabfall untersuchen zu lassen (zum Untersuchungsumfang siehe Abbildung 17). Demgegenüber sind die in der Abbildung 18 dargestellten Probenumfänge für die rechtlich vorgegebenen Untersuchungen von reinem Wirtschaftsdünger einzuhalten.

Abbildung 18: Prüfungsumfang für Wirtschaftsdünger (nach DÖHLER/BAUER 2000)

	Teilanalysen	Vollanalyse
Analyseparameter	<ul style="list-style-type: none"> • TS • Gesamt-N, NH₄⁺ • P,K 	Wie Teilanalyse + Kupfer, Zink
Probenzahl/Jahr	4	1
Probenintervall	vierteljährlich	
Erläuterungen	unabhängig vom Input (bei Kleinanlagen < 1000t/a auf Antrag Reduzierung auf einmal jährlich zulässig)	

Vor der erstmaligen Aufbringung ist zudem eine Bodenuntersuchung auf Schwermetalle und pH-Wert durchzuführen. Eine (erneute) Aufbringung von Bioabfällen ist untersagt, sofern die in Abbildung 19 dargestellten Schwermetallkonzentrationen im Boden überschritten werden:

Abbildung 19: Maximal zulässige Schwermetallkonzentrationen im Boden (BioAbfV, § 9 Abs. 2, 1998)

Bodenart	Cadmium	Blei	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Nickel	Zink
Ton	1,5 (1*)	100	100	60	1	70	200 (150*)
Lehm	1	70	60	40	0,5	50	150
Sand	0,4	40	30	20	0,1	15	60

* bei einem pH-Wert < 6

Die Kosten der vorgeschriebenen Analysen sind nicht unerheblich, da die Aufbringungsflächen parzellenweise untersucht werden müssen. Die nach BioAbfV vorgeschriebenen Analysen sind von dem Landwirt vor der erstmaligen Ausbringung zu erbringen. Die BioAbfV sieht Erleichterungen bei den Bodenuntersuchungen und den Nachweispflichten (§ 11) vor, wenn der Bioabfallbehandler Mitglied einer regelmäßigen Güteüberwachung ist.

3.6.1 Schwermetall-Belastungen von Kofermenten

Aus der aktuellen Literatur wurden 93 Analysen zu verschiedenen Kofermenten und 218 Analysen zu Wirtschaftsdüngern (Schweine-, Rinder- und Hühnergülle) ausgewertet. Hierzu sind jeweils die *höchsten* Schwermetallkonzentrationen (bezogen auf die Trockensubstanz) aus den Untersuchungen übernommen und in den nachfolgenden Diagrammen grafisch ausgewertet worden. Die maximalen Belastungen wurden im Sinne eines „Worst-Case-Szenario“ ausgewählt, um eine maximal zu erwartende Schadstoffbelastung aus den jeweiligen Kofermenten aufzuzeigen. Zur Orientierung über die ermittelte Bandbreite der Schwermetallbelastungen sei darauf hingewiesen, dass die niedrigsten Belastungen aus den Untersuchungen der Kofermente mindestens um eine Zehnerpotenz, teilweise um zwei Zehnerpotenzen geringer sind als die ausgewerteten Maximalwerte.

Wie die Grafiken zeigen, ist der sehr hohe Gehalt von Kupfer- und Zinkbelastungen der Schweinegülle auffällig, während für die Wirtschaftsdünger Hühner- und Rindergülle in grober Abschätzung festgestellt werden kann, dass sofern keine zink- und kupferbelasteten Kofermente eingebracht werden, die Grenzwerte der Bioabfallverordnung eingehalten werden können.

Die Ergebnisse zeigen, dass alle untersuchten Kofermente relativ geringe Schwermetallkonzentrationen aufweisen. Nach den gesetzlichen Vorgaben der Bioabfallverordnung bedeutet dies, dass theoretisch sämtliche Kofermente direkt auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ausgebracht werden dürften. Vergleicht man die Ergebnisse mit den gesetzlichen Vorgaben der Klärschlammverordnung, so wird deutlich dass die Schwermetallgehalte von Kofermenten nur in Ausnahmefällen ein Problem für den Boden- und Grundwasserschutz darstellen sollten.

(1) Grenzwerte BioabfV	(2) Fettabscheider	(3) Fritieröl
(4) Gehärtetes Fett	(5) Homogen. Lebensmittel	(6) Spelseabfall
(7) Bioabfall	(8) Obstfiltrat	(9) Reste aus Pektinher.
(10) Leinschrot	(11) Bierfiltrat	(12) Biertreber
(13) Maispflanze	(14) Gemüse-/Obstbrei	(15) Gemüseabfälle
(16) Getreideabfall	(17) Grünschnitt	(18) Laubblätter
(19) Panseninhalt	(20) Panseninhalt	(21) Vergor. Rindergülle
(22) Frisch-Rindergülle	(23) Schweinegülle	(24) Hühnergülle

Quecksilbergehalt von Kofermenten

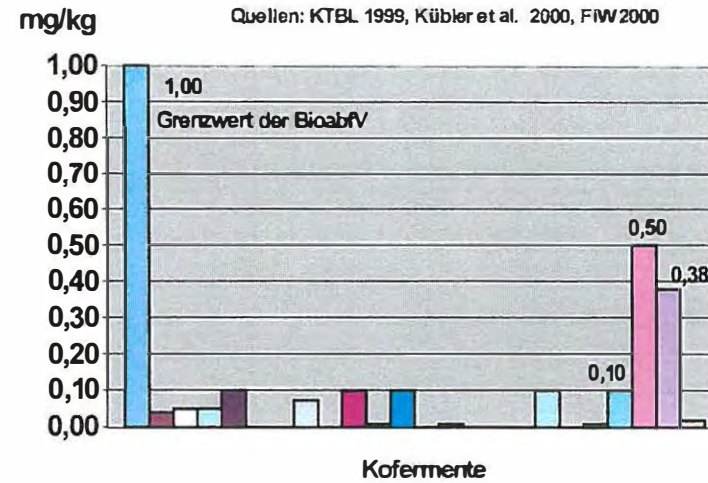
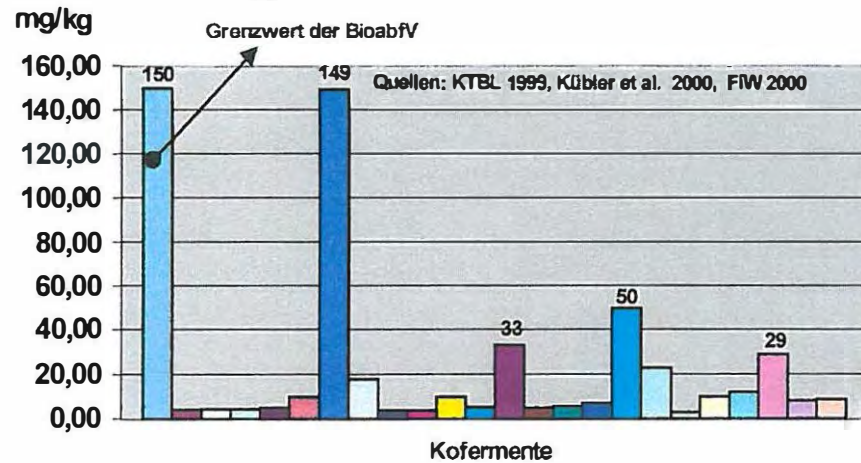
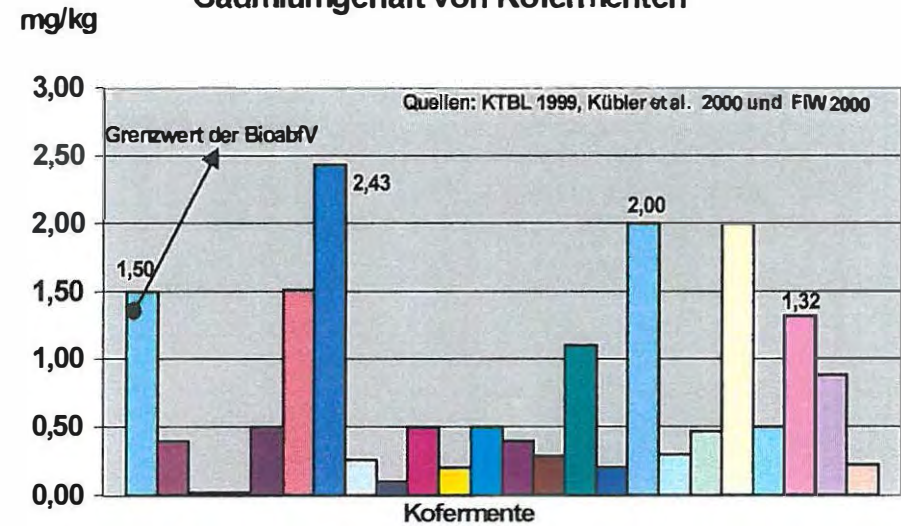


Abbildung 20: Schwermetallgehalte von Kofermenten in mg/kg in der Trockensubstanz

Bleigehalt von Kofermenten



Cadmiumgehalt von Kofermenten



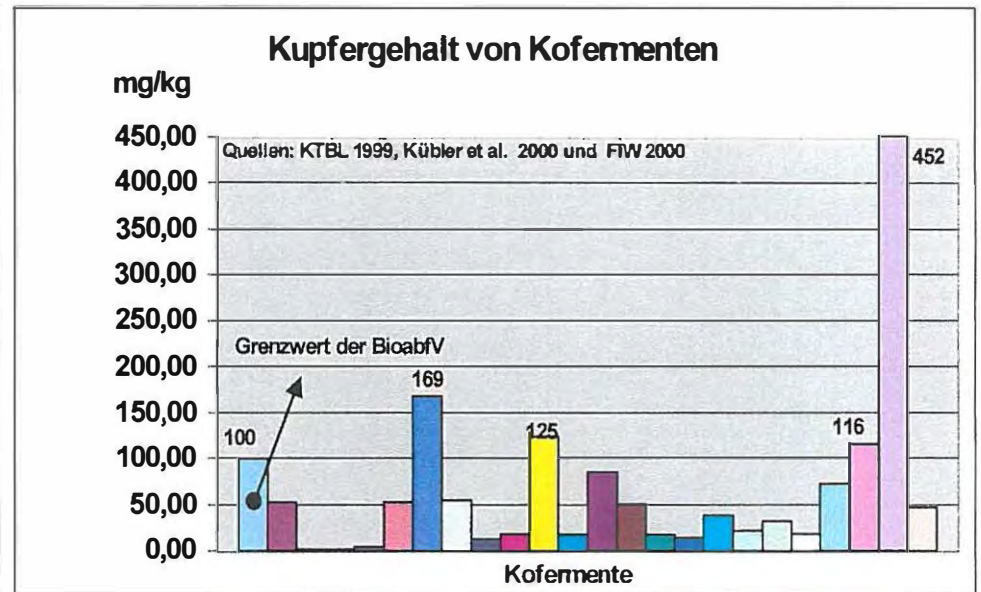
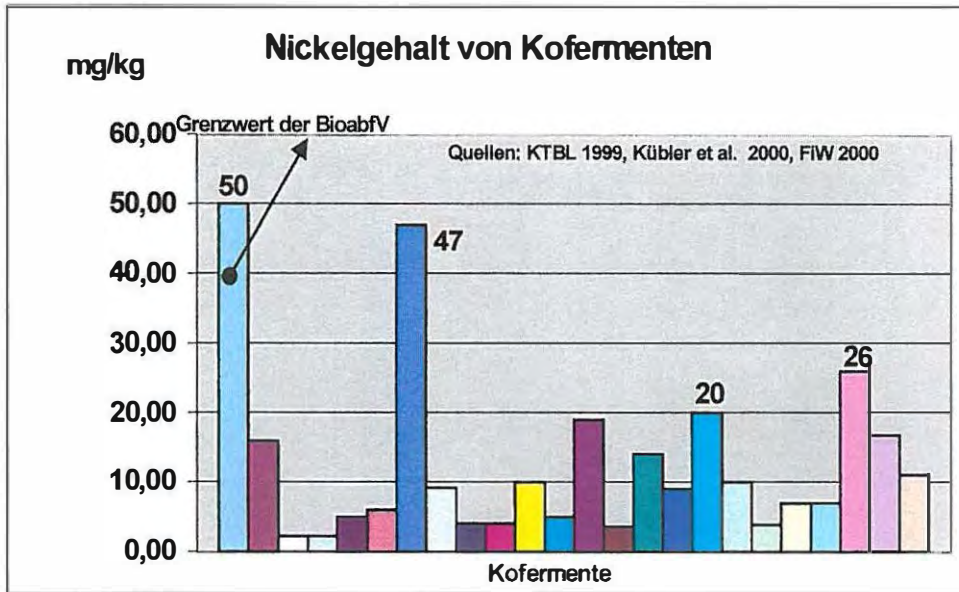
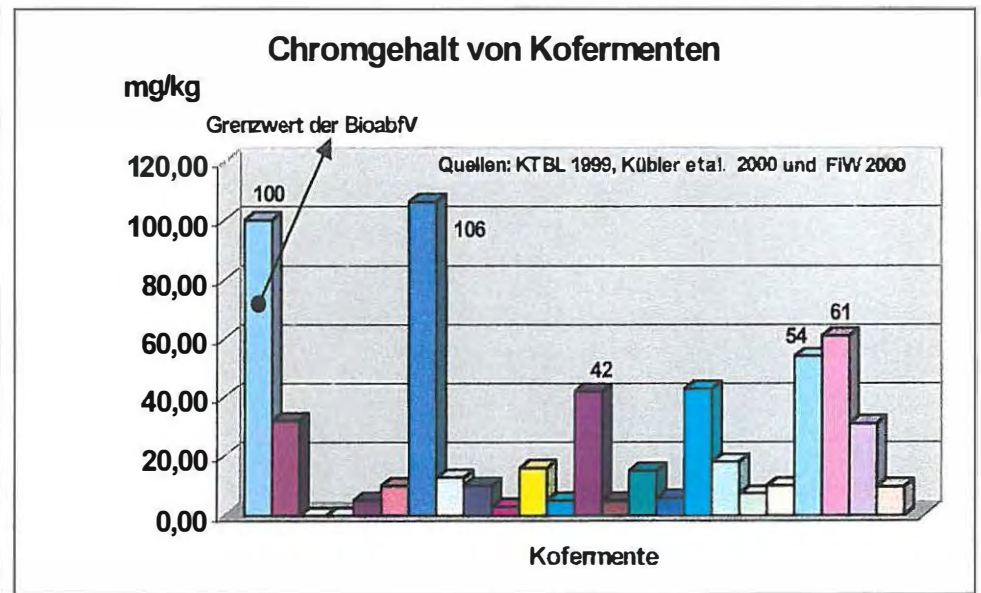
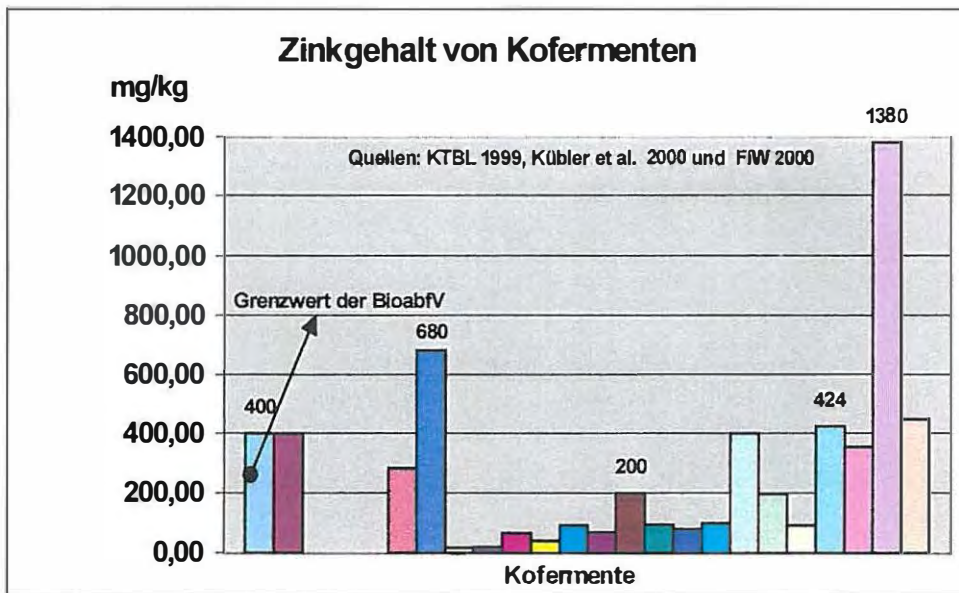


Abbildung 2: Schwermetallgehalte von Kofermenten in mg/kg in der Trockensubstanz



3.6.2 Ausnahmeregelungen für belastete Wirtschaftsdünger

Gegenüber der Verwendung von Gemischen aus Wirtschaftsdünger und Kofermenten unterliegt die Verwertung von unvermischem Wirtschaftsdüngern nicht der BioAbfV, sondern wird durch DüngV und DüMV geregelt. Eine Beschränkung der Aufbringung aufgrund von Schwermetallgrenzwerten besteht nicht. Erst in Verbindung mit der Kofermentation von organischen Abfällen fällt das Gesamtgemisch aus Wirtschaftsdünger und Kofermenten in den Geltungsbereich der BioAbfV, so dass die dort geltenden Schwermetallgrenzwerte eingehalten werden müssen. Dies kann insbesondere bei der Verwendung von Schweinegülle als Grundsubstrat zu einer Überschreitung der Grenzwerte für Zink und Kupfer im Gärrest und damit zu einem Verbot der Aufbringung führen (KTBL 2000c).

Aus diesem Grund hat die Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Hinweise zum Vollzug der BioAbfV“ darauf hingewiesen, dass nach § 4 Abs. 3 Satz 4 Ausnahmen bei der Überschreitung einzelner Schwermetallgehalte zugelassen werden können, insbesondere, wenn die erhöhte Schwermetallbelastung auf hohe Belastungen des Wirtschaftsdüngers mit Zink oder Kupfer zurückzuführen ist und sofern eine Beeinträchtigung des Allgemeinwohls nicht zu erwarten ist. Als Begründung wird der Grenzwertüberschreitung der Nutzen des Wirtschaftsdüngers an wertgebenden Inhaltsstoffen, insbesondere Pflanzennährstoffen gegenübergestellt. Eine Überschreitung des Cadmium-Grenzwertes dagegen ist nicht zu tolerieren. Vor dem Hintergrund einer einheitlichen Genehmigungspraxis ist in diesem Zusammenhang als unbefriedigend anzusehen, dass die Arbeitsgruppe keine Anhaltspunkte formuliert hat, unter welchen Bedingungen eine Beeinträchtigung des Allgemeinwohls eintreten könnte. Für die anstehende Überarbeitung einer Reform der BioAbfV sollten deshalb die Schwermetallgrenzwerte bei der Kofermentation von Wirtschaftsdüngern mit Bioabfällen nur auf die eingesetzten Bioabfälle (Kofermente) bezogen werden.

3.6.3 Unterschiedliche Grenzwerte in der BioAbfV und der AbfKlärV

Auf den ersten Blick unverständlich ist die Festlegung unterschiedlicher Grenzwerte der maximalen Schwermetallbelastung von Klärschlämmen und Bioabfällen. Aus fachlicher Sicht ist nicht nachvollziehbar, warum für Klärschlämme höhere Schwermetallgehalte für Chrom, Kupfer, Quecksilber und Zink erlaubt und damit bei Aufbringung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen geringere Qualitätsanforderungen gestellt werden. Auf Nachfrage im BMU wurde mitgeteilt, dass der Grund in den unterschiedlichen Verabschiedungsjahren zu sehen ist (AbfKlärV 1992, BioAbfV 1998), für das Jahr 2002 ist eine Überarbeitung und entsprechende Anpassung der AbfKlärV vorgesehen.

Abbildung 22: Vergleich der jährlichen Frachten für Schwermetalle nach den Regelungen der Bioabfall- und Klärschlammverordnung; alle Angaben in [g/ha/a] (KTBL 2000c)

	Ausbringungsmenge [t TM/ha]	Ausbringungszeitraum [a]	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn
AbfKlärV	5	3	1500	17	1500	1333	333	13	4167
AbfKlärV (Ton <5%, 5< pH <6)	5	3	1500	8	1500	1333	333	13	3333
BioAbfV	20	3	1000	10	667	667	333	7	2667
BioAbfV	30	3	1000	10	700	700	350	7	3000

3.7 Nährstoffgehalte von Kofermenten und Wirtschaftsdüngern

Wie die Schwermetalle, bleiben auch die Nährstoffe während des Vergärungsprozesses erhalten. Somit bestimmt der Nährstoffgehalt im Input direkt den Nährstoffgehalt des Output. Für den Betreiber einer landwirtschaftlichen Biogasanlage resultiert daraus, unter dem Verfahren der „guten fachlichen Praxis“, durch den Einsatz von Kofermenten zusätzlich eingebrachte Nährstoffe in seiner Düngesplanung zu berücksichtigen. Im Genehmigungsverfahren muss der Landwirt daher sowohl die eingesetzte Art und Menge der Kofermente angeben, als auch ausreichende Flächen zur Aufbringung der in den Gärresten zu erwartenden Nährstoffmengen nachweisen.

Im Vergleich der Nährstoffgehalte von Kofermenten und Wirtschaftsdünger wird deutlich, dass Gülle, Mist und Kot eindeutig die höchsten Nährstoffgehalte aufweisen. Von den Kofermenten enthalten v.a. Obst-, Gemüse- und Kartoffelreststoffe aber auch Speiseabfälle hohe Nährstoffgehalte. Tendenziell kann davon ausgegangen werden, dass durch die Zugabe von Kofermenten die Konzentration von Nährstoffen pro Kilogramm Gärrest im Vergleich zu dem Gärrest aus der Monovergärung von Gülle geringer ist. Durch die Zugabe von Kofermenten mit geringeren Nährstoffgehalten tritt somit ein „Verdünnungseffekt“ bezogen auf die Gewichtseinheit ein. Für die Gesamtbilanz des landwirtschaftlichen Betriebes erhöht sich die Nährstoffmenge um den mit den Kofermenten eingebrachten Anteil.

Abbildung 23: *Bandbreiten der Nährstoffgehalte von Kofermenten aus LUFA-Untersuchungen*
(KTBL 1999)

Kofermente	N-Gesamt (% TS)	P-Gesamt (% TS)	K-Gesamt (% TS)	Anzahl der Proben
Apfeltrester	0,77-1,3	0,09-0,18	0,41-1,08	5
Bierfiltrat	0,7 - 3,0	0,18 - 0,29	0,01 - 0,33	17
Biertreber	0,62 - 4,0	0,21 - 0,21	0,12 - 1,0	3
Bioabfall	1,7	0,4	0,91	1
Fettabscheider	0,06-3,68	0,02-0,42	0,01 - 0,98	6
Gemüseabfälle	4,2-5,1	0,31-2,2	1,08-3,98	4
Gemüse-/Obstbrei	1,4-2,5	0,14-0,88	0,75-3,65	5
Getreideabfall	2,2-3,1	0,62 - 1,32	0,42-2,32	4
Gras	0,2-2,7	0,22-0,44	1,49-2,49	4
Grünschnittabfall	0,6-1,7	0,13-1,36	0,5 - 3,07	12
Gülesubstrat	3,16-3,61	0,51-1,04	4,22 - 4,28	2
Hühnergülle	0,86-7,7	1,56-2,38	1,58-3,35	6
Hühnerkot	1,3-8,31	1,1-4,66	0,5-3,15	22
Kartoffelschlempe	4,4-5,61	0,55-0,75	5,48-6,29	4
Laubblätter	1,0-1,8	0,13-0,18	0,58-0,91	4
Maispflanze	0,5-1,5	0,03-0,4	0,66-1,25	5
Obstfiltrat	0,21-2,14	0,02-0,09	0,02-0,65	12
Panseninhalt	1,5-3,08	0,19-0,97	0,23-1,66	11
Pferdemist	1,2-3,22	0,18-0,87	0,17-3,53	13
Putenmist	3,96-4,66	1,27-2,1	2,12-2,57	2
Rest aus Pektinher.	1,0-1,4	0,13-0,44	0,66	3
Rindergülle	2,07-13,45	0,38-1,26	1,25-10,7	160
Schlachthofabfälle	3,8	1,75	1,18	1
Schweinegülle	2,5-21,28	1,5-3,61	1,16-9,5	50
Tabakabfälle	2,06	0,28	3,29	2
Weinhefe	4,1-5,6	0,62-0,7	0,58-5,73	4

In NRW gelten die Böden in 4 von 5 Regierungsbezirken als mit Nährstoffen überversorgt. Aus diesem Grund ist zu befürchten, dass in vielen Regionen NRWs unter den heute geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen der BioAbfV und DüMV nur unter Gewährung von Ausnahmeregelungen eine Genehmigung zum Betrieb einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit Kofermentation von Bioabfällen erteilt werden kann.

- Bei Einsatz der zugelassenen Kosubstrate droht in vielen Regionen des Landes die Gefahr der Überdüngung durch mit den Kofermenten zusätzlich eingebrachte Nährstoffe (Verstoß gegen die „gute fachliche Praxis“). Eine Problematik, die grundsätzlich auch für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und Kompostprodukten besteht.

- Das Inverkehrbringen der Gärreste erfordert zusätzliche Genehmigungen, Berücksichtigung der nach DüMV möglichen Kosubstrate, eine erweiterte Logistik und zusätzliche Betriebskosten.
- Die einzuhaltenden Untersuchungs- und Nachweispflichten belasten zusätzlich die Wirtschaftlichkeit von Kofermentationsanlagen.

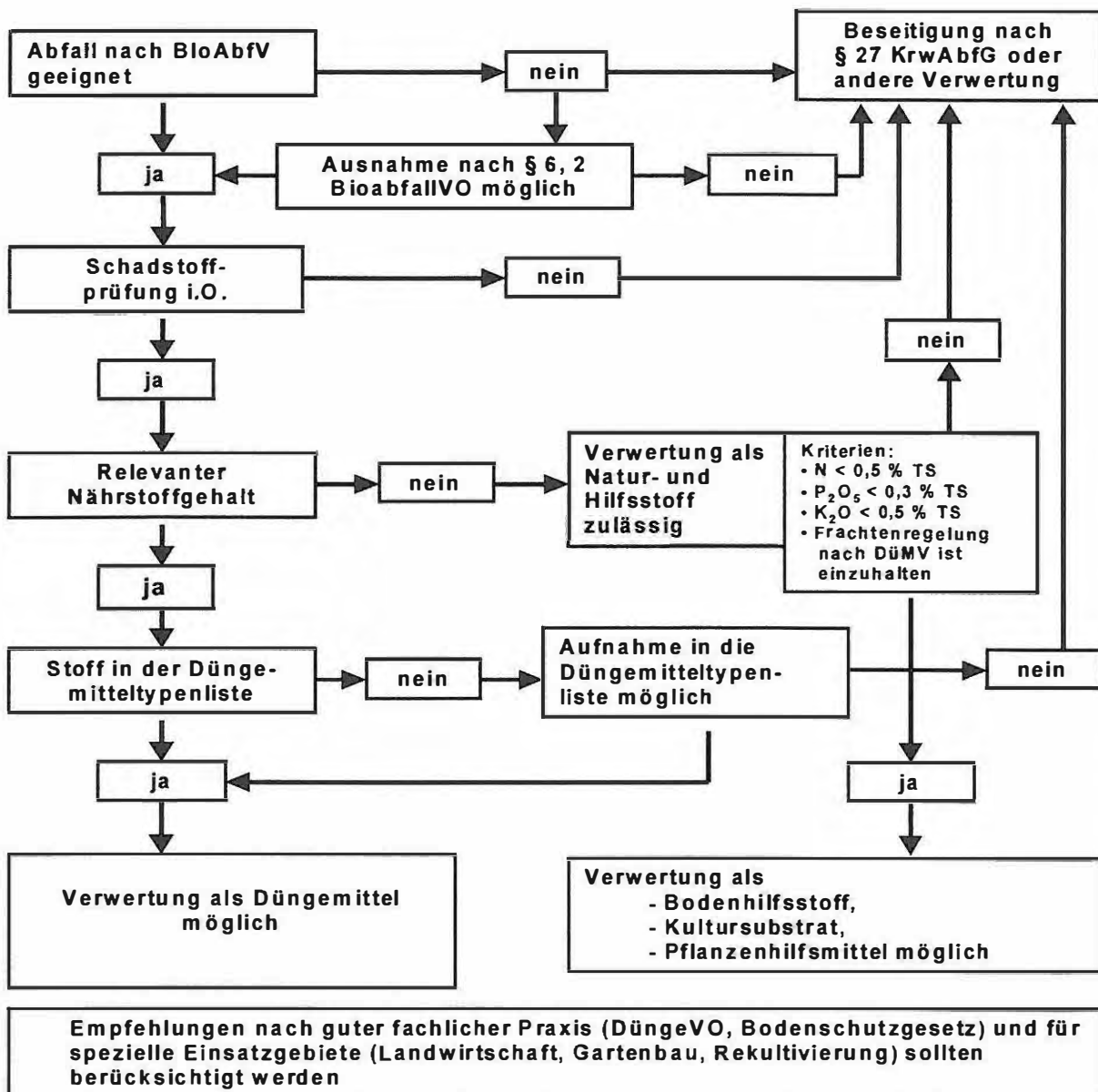
Daher ist es erforderlich mit Hilfe von Untersuchungen festzulegen, welche Kofermente weitgehend nährstoffstoffneutral in landwirtschaftlichen Kofermentationsanlagen eingesetzt werden können, um sie in Form von Gärresten auch in nährstoffübersorgten Gebieten ausbringen zu können. So können die Potenziale der Biogasgewinnung in NRW genutzt und den Landwirten eine Zukunftsperspektive als Energiewirte geschaffen werden.

3.8 Ablaufschema zur Genehmigung von Kofermenten

Die folgende Abbildung zeigt ein vereinfachtes Ablaufschema zur Bewertung der Genehmigungsfähigkeit von Bioabfällen zur Kofermentation in Biogasanlagen. Dieses Schema erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit sondern gibt einen groben Überblick über die für das Inverkehrbringen von Sekundärrohstoffdüngern aus Bioabfällen relevanten Entscheidungspfade.

Abbildung 24: Ablaufschema Abschätzung der Genehmigungsfähigkeit von Bioabfällen (nach KTBL 1999)

Beurteilung der Abfälle für eine potentielle landbauliche Verwertung



Vier unterschiedliche Szenarien lassen sich anhand des Schemas darstellen:

1. Genehmigungsverfahren eines Bioabfalls, der sowohl im Anhang 1 der BioAbfV, wie auch in DüMV Anhang 1, Abschnitt 3a aufgeführt ist. Die Zulassung kann entsprechend der in den beiden Verordnungen aufgeführten Stofflisten erfolgen.
2. Der Bioabfall ist weder gemäß Anhang 1 der BioAbfV noch in DüMV Anhang 1 erfasst. Nach Düngemittelrecht muss entsprechend ein Nutzen für Boden und Pflanzen nachgewiesen und nach BioAbfV eine Schadstoffprüfung des Abfalls durchgeführt werden. Fallen die entsprechenden Prüfungen positiv aus, fehlt noch die Einzelfallgenehmigung nach KrWG/AbfG §27 und BioabfV §6 durch die zuständige Behörde im Einvernehmen mit der landwirtschaftlichen Fachbehörde.
3. Ist der zuzulassende Bioabfall in der Bioabfallverordnung bereits erfasst, nicht aber in der Düngemitteltypenliste, so gilt das unter 2 Ausgeführte. Entscheidend ist, eine entsprechende Zulassung nach DüMV zu erhalten.
4. Wenn der zuzulassende Bioabfall in der Düngemitteltypenliste bereits erfasst, aber nicht in der Bioabfallverordnung geführt ist, muss eine entsprechende Zulassung nach Abfallrecht (§ 6, 2 BioAbfV) bei der zuständigen Abfallbehörde erwirkt werden.

Anzumerken ist, dass eine Ausnahme nach § 6 Abs. 2 BioAbfV nur für diejenigen Bioabfälle erteilt werden kann, die der Bioabfall-Definition im Sinne von § 2 BioAbfV entsprechen.

4 Ökonomische Situation und Wirtschaftlichkeitsberechnung

4.1 Einleitung

Die Zunahme von Biogasanlagen in der Landwirtschaft ist v.a. auf Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen sowie auf Fördermaßnahmen des Staates und maßgeblich auch auf technische Fortschritte bei der Gaserzeugung und der Biogasverwertung zurückzuführen:

- das Stromeinspeisungsgesetz, das die Einspeisung von Strom aus Biogas in das öffentliche Netz rechtlich sicherstellt,
- das Erneuerbare-Energien-Gesetz, das eine Vergütung von Strom zum Festpreis regelt, der nicht an die Entwicklung des durchschnittlichen Strompreises gekoppelt ist,
- das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, das der stofflichen und energetischen Verwertung von organischen Abfällen Vorrang vor der Beseitigung einräumt,
- die Bioabfallverordnung, die den Einsatz und die Qualitätsanforderungen von Gärresten aus der Kofermentation im Hinblick auf die landwirtschaftliche Verwertung regelt,
- das Marktanreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien (einschl. Biogas) sowie diverse Förderprogramme einzelner Bundesländer,
- die Entwicklung von kostengünstigen Biogasanlagen und Blockheizkraftwerken durch die Herstellung modularer Bauteile,
- die Entwicklung prozessintegrierter Verfahren zur Entschwefelung von Biogas,
- die seit 1999 ermöglichte Verwertung von Energiepflanzen von Stilllegungsflächen in Kofermentationsanlagen.

4.2 Klimaschutz und die Förderung regenerativer Energien

Deutschland hat sich im internationalen Vergleich ambitionierte Klimaschutzziele gesteckt. Die beschlossenen EU-Klimaschutzziele von Kyoto bedeuten eine Reduzierung der Emissionen der sechs klimarelevanten Gase (CO_2 , CH_4 , N_2O , H-FKW, FKW, SF_6) um 21 % gegenüber 1990. Zusätzlich gilt das nationale Ziel bis 2005 die CO_2 -Emissionen um 25 % gegenüber 1990 zu reduzieren. In diesem Kontext beabsichtigt die Bundesregierung den Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis zum Jahre 2010 zu verdoppeln. Hierzu wurde 1999 ein dreijähriges Programm zur Förderung erneuerbarer Energien aufgelegt, mit dem auch der Bau von Biogasanlagen finanziell unterstützt wird. Damit wird die Entwicklung neuer Technologien im Biogasbereich gefördert und indirekt die Investitionskosten in diese Technik (Kostendegression, Verfahrensoptimierung) werden indirekt gesenkt. Bei Ausschöpfung der gesamten Fördersumme könnten zwischen 600 und 700 kleine und mittlere Biogasanlagen zusätzlich in der Landwirtschaft entstehen.

Bundesprogramm Erneuerbare Energien

Der Antragsteller erhält einen zinsgünstigen Kredit, bei dem der Effektivzinssatz bei einer 10-jährigen Laufzeit z.Z. 5,18 % p.a. (Stand: 1.9.00) beträgt. Zusätzlich wird auf sein Darlehen ein Zuschuss in Form eines Schulderrlasses gewährt. Dieser beträgt maximal 30 % der Investitionssumme und höchstens 300.000 DM. Die maximale Kreditlaufzeit beträgt 20 Jahre einschließlich drei tilgungsfreier Jahre.

Die Förderung von Biogasanlagen erfolgt nach der Menge des zur Verfügung stehenden Gärsubstrates (GV-Zahl und Fläche auf der Biomasse angebaut wird). Organische Abfälle, die nicht aus der Landwirtschaft stammen, werden bei der Ermittlung der Förderhöhe nicht berücksichtigt. Aus den anzugebenden Einsatzstoffen (in Form von Großvieheinheiten und Hektar Biomasse) wird ein Kilowatt-Wert errechnet, dem eine bestimmte Förderung entspricht. So kann beispielsweise ein Betrieb mit 130 GV und 5 Hektar Biomasse-Anbau einen Teilschulderrlass von 73.000 DM erhalten.

Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) Laufzeit: 01.09.99 – 15.10.02

Zum 1. April 2000 ist das Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) in Kraft getreten. Das Gesetz begünstigt die Stromerzeugung bis zu einer Generatorleistung von 20 Megawatt und schreibt die Einspeisevergütung für die nächsten 20 Jahre fest:

- Auf 0,20 DM/kWh für Anlagen mit einer Leistung von 500 KW
- Auf 0,18 DM/kWh für Anlagen mit einer Leistung von 501 bis 5.000 KW
- Auf 0,17 DM/kWh für Anlagen mit einer Leistung von 5.001 bis 20.000 KW

Das EEG enthält eine Degression, d.h. ab 2002 werden die Mindestvergütungen jährlich um ein Prozent gesenkt, d.h. ab 2003 werden statt 0,200 DM nur noch 0,198 DM/kWh vergütet. Folgende Auflagen werden gestellt:

- Einhaltung der TA Luft
- Einhaltung der Sicherheitsregeln des Fachverband Biogas
- Einsatz von max. 50 % Kofermenten
- Keine Selbstbauanlagen – keine Anlagenerweiterung

Das EEG wurde kritisiert, da es eine unzulässige Beihilfe im Sinne des EU-Rechts darstellt. Dieser Einschätzung hat inzwischen der Generalstaatsanwalt des Europäischen Gerichtshofes widersprochen, so dass das EEG wohl seitens der EU notifiziert wird.

Des Weiteren können im Rahmen des *Agrarinvestitionsförderprogramms (AFP)* Investitionen im Bereich der Energieeinsparung und -umstellung, insbesondere auch Investitionen in Biogasanlagen finanziell unterstützt werden. Daneben gibt es Förderprogramme der Bundesländer, wie etwa in Nordrhein-Westfalen (*REN-Programm* Investitionsförderung als Zuschuss), Hessen, Rheinland-Pfalz und Brandenburg.

4.3 Vergleich aktueller Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Aus Sicht des Landwirte kann unter bestimmten Bedingungen durch den Betrieb einer Biogasanlage ein zusätzliches Einkommen erwirtschaftet werden. Neben einer kostengünstigen Aufbereitung der Gülle (Beseitigung der Geruchsprobleme, Verbesserung der Dungwerteschaften) ergibt sich eine günstige Energiebereitstellung (Strom und Wärme) für den landwirtschaftlichen Betrieb, deren Überschüsse per Stromeinspeisung und bei gegebenen Möglichkeiten über eine Wärme-Nahversorgung verkauft werden können. Im Zuge der Umstrukturierung der Landwirtschaft geben immer mehr landwirtschaftliche Betriebe auf. Es wäre zu überprüfen, ob solche Betriebe durch den Bau und den Betrieb einer Biogasanlage mit Kofermentation einen neuen, gewinnbringenden Betriebszweig aufbauen könnten, da zumindest die Einspeisevergütung über einen langfristigen betriebswirtschaftlichen Zeitraum (20 Jahre) festgeschrieben ist.

Detaillierte Kostenrechnungen für Biogasanlagen wurden bisher nur punktuell und auf Einzelbetriebe bezogen veröffentlicht. Dies ist v.a. auf die junge Geschichte der Biogasanlagen und die je nach landwirtschaftlichen Betrieb sehr unterschiedlichen Kostenstrukturen zurückzuführen. Welche Bandbreite die Investitionskosten beim Bau einer Biogasanlage besitzen, zeigen die aktuellen Angaben des Bundeslandwirtschaftsministeriums, das die Investitionen für die Monovergärung von Gülle mit 800 bis 3.000 DM pro GV beziffert (BMELF 2000B). Werden Biomasse oder organische Abfälle mitvergoren, muss die Anlage entsprechend größer ausgelegt werden.

Eine Übersicht zu den Investitionskosten von Biogasanlagen bietet die Evaluierung von Biogasanlagen in Baden-Württemberg von 1997 (OECHSNER 1999A). Die Ergebnisse von 79 Biogasanlagen zeigen deutlich die große Bandbreite der Investitionskosten in Abhängigkeit von den jeweiligen Gegebenheiten (38.000 DM – 1,6 Mio. DM) und den Betriebskosten. Da in der Vergangenheit versucht wurde die Baukosten möglichst durch Eigenleistungen und den Einsatz von gebrauchten Bauteilen zu senken, ist es schwierig die tatsächliche Höhe dieser Eigenleistungen zu ermitteln. Preiswert errichtete Eigenbauanlagen gehören inzwischen weitgehend der Vergangenheit an, da die Landwirte nicht die Zeit für den extrem arbeitsaufwendigen Bau haben. Dieser Situation wurde auch mit der Einführung des Bundesförderprogramms Rechnung getragen, indem eine Förderung von Selbstbauanlagen und Anlagenerweiterungen nicht gewährt wird.

4.3.1 Wirtschaftlichkeitsberechnungen: Quellen und Datengrundlage

Bislang ging man davon aus, dass sich die Investition in eine Biogasanlage zur Monovergärung von Gülle erst ab 170 Großvieheinheiten¹ (GV) rentiert. Bei Biogasanlagen zur Kofermentation wurde als Grenze für die Wirtschaftlichkeit mindestens die Verwendung der Gülle von 100 GV unter Zusatz von organischen Rest- und Abfallstoffen vorausgesetzt (OECHSNER/KNEBELSPIEB 1999). Eine Auswertung des hessischen Umweltministeriums von 1997 zu den geförderten Biogasprojekten dokumentiert, dass fünf von sechs Anlagen unwirtschaftlich (mit Verlust) arbeiteten. Nur eine Anlage erreicht gerade die Kostendeckung, obwohl in drei Anlagen Gülle von mehr als 100 GV vergärt wurde, in fünf Anlagen zudem Kofermente eingesetzt wurden und für alle Anlagen eine relativ hohe Landesförderung gezahlt wurde. Der Grund für die hinter den Erwartungen zurückbleibenden Erlöse sind in erster Linie in den ausbleibenden Entsorgungserlösen für die Kofermente zu sehen. Dies gilt sowohl für die Menge der verfügbaren Kofermente als auch für die spezifischen Erlöse und dadurch bedingt eine nicht vollständige Auslastung der Kapazitäten der Anlagen (HESSENENERGIE 1997).

Mit der Erhöhung der Strom-Einspeisevergütung um 40 % und einem derzeit relativ hohem Bundeszuschuss beim Bau neuer Biogasanlagen haben sich die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen deutlich verbessert. Im Rahmen dieser Studie wurden daher fundierte Wirtschaftlichkeitsberechnungen aus dem Jahr 1999 entsprechend der neuen Vorgaben modifiziert und eigene Berechnungen angestellt. Für einen Vergleich verschiedener Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden folgende Veröffentlichungen als Datengrundlage verwendet:

- a) Eine umfassende und detaillierte Auskunft gibt die Studie „Ermittlungen des Investitionsbedarfs und der Verfahrenskosten von landwirtschaftlichen Biogasanlagen“ im Auftrag des KTBL, Darmstadt (OECHSNER/KNEBELSPIEB 1999). Die Studie wurde auf der Grundlage aktueller Erhebungen von 171 Biogasanlagen in Bayern und Baden-Württemberg erstellt. Zusätzlich wurden die Investitionsdaten von 70 landwirtschaftlichen Biogasanlagen vom Bundesamt für Wirtschaft ausgewertet. Aus diesem Datenpool wurden 24 Varianten (6 Betriebsgrößen und 4 verschiedene Substrat-Zusammensetzungen) gebildet und deren Wirtschaftlichkeit berechnet. Für drei Modellrechnungen wurde die Datenbasis im nachfolgenden Vergleich aus der Studie entnommen und unter den aktuellen Rahmenbedingungen modifiziert, um eine Vergleichbarkeit der Berechnungen zu ermöglichen.
- b) Die Landwirtschaftskammer Rheinland veröffentlichte im Frühjahr 2000 eine Wirtschaftlichkeitsrechnung für Biogasanlagen mit neun verschiedenen Varianten (KEMPKENS 2000A). Drei Varianten wurden für die nachfolgende Wirtschaftlichkeitsberechnung ausgewählt und unverändert übernommen.
- c) Die HessenEnergie GmbH hat 1999 eine Wirtschaftlichkeitsberechnung veröffentlicht, die in der Beratungspraxis für zukünftige Betreiber von Biogasanlagen als Grundlage der einzelbetrieblichen Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendet wird (HESSENENERGIE 1999).

¹ 100 Großvieheinheiten entsprechen 330 Milchkühen, 330 Mastschweinen oder 5.000 Legehennen. 1 GV entspricht 500 kg Lebendgewicht.

In der Rechnung wird ein Landeszuschuss von 72.000 DM zugrunde gelegt. Die Einspeisevergütung wurde auf den aktuellen Satz (0,20 DM/kWh) modifiziert und neu berechnet.

- d) Das KATALYSE Institut hat eigene Berechnungen mit insgesamt drei Varianten durchgeführt, wobei die verwendeten Daten sowohl aus der aktuellen Literatur als auch auf Herstellerangaben basieren. Die Berechnungen berücksichtigen den starken Anstieg des Diesel- und Heizölpreises und setzen einen geringeren Entsorgungserlös für die Abnahme organischer Abfälle voraus.

4.3.2 Die Positionen des Wirtschaftlichkeitsvergleichs

I. Umfang der Tierhaltung in Großvieheinheiten (GV)

Bei den Berechnungen wurde von einer durchschnittlichen Tierhaltungsgröße von 100 GV ausgegangen, mit Ausnahme der Berechnung der HessenEnergie (120 GV), die aufgrund fehlender Hintergrunddaten nicht auf 100 GV zurückgerechnet werden konnten.

II. Art der Grundsubstrate und der Kofermente

Für den Vergleich wurde als Grundsubstrat jeweils Rindergülle eingesetzt. Insgesamt umfasst der Vergleich 11 Biogasanlagen-Varianten:

3 x Monovergärung von Rindergülle (1 Variante bei nicht ausgelasteten Fermentervolumen)

2 x Kofermentation von nachwachsenden Rohstoffen (Mais-Silage, Corn-Cob-Mix)

4 x Kofermentation von Fetten

1 x Kofermentation von Fetten und Grünschnitt

1 x Kofermentation von Speiseabfälle

III. Menge an zugeführten Kofermenten pro Jahr

Bei den Betriebsvarianten wurde als Grundsubstrat Rindergülle von 100 GV (HessenEnergie: 120 GV) zugrunde gelegt. Die angegebenen jährlichen Kofermentmengen werden jeweils zusätzlich zur gleichbleibenden Menge an Rindergülle eingesetzt. Mit steigendem Input an Kofermenten wurden entsprechend größere Fermenter für die Anlagen veranschlagt.

Detaillierte Deckungsbeiträge für den Anbau der Energiepflanzen (Silomais/Corn-Cob-Mix) für die Vergärung in Kofermentationsanlagen finden sich in der Anlage 4.

IV. Fermentervolumen

Die Kosten für den Fermenterbau liegen bei Biogasanlagen mit 100 GV bei etwa 50 % der gesamten Investitionen. Mit steigendem Volumen nehmen die spezifischen Fermenterkosten anteilig ab. Hieraus ergibt sich, dass mit zunehmender Fermentergröße (vorausgesetzt werden gleiche Rahmenbedingungen und eine Kapazitätsauslastung der Biogasanlage) die Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage zunimmt.

V. Hydraulische Verweildauer

Von der Verweildauer des Gärgutes hängt der Durchsatz einer Biogasanlage ab. Als hydraulische Verweilzeit wurden in der Berechnung 40 bzw. 44 Tage angenommen. Eine Verkürzung

der Verweildauer erhöht die Wirtschaftlichkeit der Anlage, ist aber durch die biologischen Abbauraten des Inputs und dem damit eingehenden optimalen Gasertrag und den hygienischen Zielvorgaben begrenzt. Der Abbau von Energiepflanzen (Silage-Mais und Corn-Cob-Mix) in Biogasanlagen ist bisher wissenschaftlich noch nicht umfassend untersucht, dementsprechend existieren kaum abgesicherte Daten. Aussagen von Anlagenbetreibern deuten jedoch daraufhin, dass bereits nach 14 Tagen Kofermente aus nachwachsenden Rohstoffen weitestgehend abgebaut sind.

VI. Investition/GV

Die Investition je Großvieheinheit stellt eine spezifische Vergleichszahl für die Gesamtinvestitionskosten (ohne Berücksichtigung der Förderung) dar.

VII. Investitionskosten

In dieser Zeile werden alle Investitionskosten netto – ohne Mehrwertsteuer aufgeführt.

VIII. Förderung

Von den Gesamtkosten (netto, ohne Mehrwertsteuer) wurde der jeweilige Bundeszuschuss aus dem Förderprogramm Erneuerbare Energien in Anrechnung gebracht. Der Zuschuss errechnet sich aus der Zahl der Großvieheinheiten und der Anbaufläche von Biomasse zur Energiegewinnung. Außerlandwirtschaftliche Kofermente (z.B. organische Abfälle, Grasschnitt aus der Kommune usw.) fließen nicht in die Berechnung des Bundeszuschusses ein. Nach Abzug des Bundeszuschusses von der Gesamtinvestitionssumme ergibt sich der für den Landwirt maßgebliche Investitionsbedarf.

IX. Biogaserzeugung

Die Biogaserzeugung setzt sich aus dem täglichen Input, multipliziert mit den spezifischen durchschnittlichen Gaserträgen der Gülle und Kofermente zusammen. Die Biogaserzeugung pro Jahr ergibt sich durch Verrechnung mit dem Faktor 365, da es sich um einen kontinuierlichen Prozess über 24 Stunden und 365 Tagen handelt. Bei den Berechnungen der Landwirtschaftskammer Rheinland wurde von der erzeugten Biogasmenge ausgegangen, alle anderen Berechnungen beziehen sich auf die Methanerzeugung. Durchschnittlich enthält 1 m³ Biogas ca. 60 % Methan (KTBL 2000a).

X. Stromeinspeisung (Stromverkauf)

Für den Wirtschaftlichkeitsvergleich wurde grundsätzlich davon ausgegangen, dass der gesamte Strom aus der Biogasnutzung eingespeist und zum Preis von 0,20 DM/kWh verkauft wird. Bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen bis zum Jahr 1999 wurde zwischen dem Ertrag aus Stromeinsparung (Nutzung des eigenen Strom im landwirtschaftlichen Betrieb) und dem Ertrag aus der Stromeinspeisung differenziert und mit unterschiedlichen Sätzen gerechnet. Dieser Berechnungsansatz ist mit Inkrafttreten des EEG überflüssig geworden, da in der Praxis der gesamte erzeugte Strom ins öffentliche Netz eingespeist wird.

XI. Wärmenutzung

Bei der Wärmenutzung wurde eine Teilnutzung der entstandenen Wärmeenergie zur Beheizung des Wohnhauses vorausgesetzt und damit die eingesparten Heizölkosten der Biogasanlage gutgeschrieben.

Seit Herbst 1999 hat sich der Mineralölpreis und damit auch der Heizöl- und Dieselpreis fast verdoppelt. Steigende Energiepreise wirken sich wirtschaftlich gesehen vorteilhaft auf die ökonomische Bilanz der Biogasanlagen aus. In den Berechnungen von OECHSNER wurde noch ein Heizöl-/Dieselpreis von 0,40 DM/l, von der Landwirtschaftskammer und HessenEnergie ein Heizöl-/Dieselpreis von 0,50 DM/l und seitens KATALYSE ein Heizöl/Dieselpreis von 0,60 DM/l Heizöl angesetzt. Die Einsparungen im Bereich der Wärmenutzung (Reduzierung der Heizkosten) erhöhen sich mit steigenden Heizölpreisen, zu berücksichtigen ist aber gleichzeitig, dass auch die Dieselpreise für den Zündstrahlmotor steigen.

XII. Erlöse für Kofermente

a. Entsorgungserlöse

Die Entsorgungserlöse aus der Abnahme von organischen Abfällen sollten nicht oder nur mit niedrigen Beträgen in die Kostenrechnung und Investitionsrechnung bei der Planung einer Biogasanlage einfließen, da der Markt und damit die Preise (Entsorgungserlöse) für Kofermente in Bewegung sind. Während man in Nordrhein-Westfalen derzeit noch je nach Region und Art des Koferment zwischen 30 und 50 DM/t Entsorgungserlöse erzielen kann, zahlen einige Biogasbetreiber in Niedersachsen und Bayern aufgrund der zunehmenden Konkurrenz bereits für die Abnahme „qualitativ-hochwertiger Kofermente“ (FACHVERBAND BIOGAS 2000A). Da bei vielen Kofermenten Aufbereitungskosten entstehen, können die Aufwendungen die Entsorgungserlöse übersteigen. Diese Entwicklung ist auch für Nordrhein-Westfalen von Relevanz, da mit der Inbetriebnahme weiterer Biogasanlagen eine Konkurrenzsituation um die hochwertigen und unproblematischen Kofermente ausgelöst wird und die heute erzielbaren Erlöse in naher Zukunft wahrscheinlich nicht mehr realisiert werden können. Flüssige Kofermente, wie Fettabscheiderfette, sind in einigen Regionen (Westliches Münsterland, Raum Vreden) von NRW kaum mehr verfügbar (SCHNIPPE 2000). Eine Verschärfung dieser Konkurrenzsituation könnte zukünftig auch durch spezielle Vergärungsanlagen für Biomüll und die Vergärung von organischen Abfällen in Faultürmen von Kläranlagen eintreten.

b. Stilllegungsprämie

Die Europäische Union zahlt für die Stilllegung von bewirtschafteten Ackerflächen eine Prämie von 600 DM/ha. Stilllegungsflächen müssen begrünt oder mit nachwachsenden Rohstoffen bebaut werden.

XIII. Dungwert

Der Dungwert stellt den finanziellen Wert des Gärrestes nach der Ausbringung auf den Anbauflächen dar. Da ein gewisser Teil an mineralischen Düngern eingespart werden kann, können entsprechende Gutschriften berechnet werden. Bei KEMPKENS werden 20 DM/GV als Dungwert gutgeschrieben. Die meisten Wirtschaftlichkeitsberechnungen sehen jedoch keine entsprechenden Gutschriften vor. Zur ökonomischen Bewertung der Gärreste vgl. Anlage 2.

XIV. Summe Erträge/Jahr

Die Summe der jährlichen Erträge setzt sich zusammen aus: Einnahmen aus der Stromeinspeisung, Einsparung von Heizöl durch Wärmenutzung, Entsorgungserlöse für organische Abfälle oder Stilllegungsprämien für Nachwachsende Rohstoffe und aus dem Dungwert durch Mineraldüngereinsparung.

XV. Summe Betriebskosten/Jahr

Die Summe der jährlichen Betriebskosten setzt sich zusammen aus Abschreibungen für den Bau und die Technik der Biogasanlage, den Zinsen für laufende Kredite, aus Reparatur und Wartung der Anlage, Kosten für Versicherungen, Arbeitskosten zur Anlagenunterhaltung sowie dem Zündölverbrauch der BHKW-Motoren. Die Analyse von Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigt, dass eher selten alle Kostenpositionen bei der Kalkulation der Betriebskosten berücksichtigt wurden. V.a. der Arbeitslohn und ein angemessener Aufwand für Reparaturen und Instandhaltung werden häufig nicht in der Berechnung der Betriebskosten einbezogen, was dazu führt, dass positivere Betriebsergebnisse errechnet, als tatsächlich in der Praxis erzielt werden.

XVI/XVII. Jahresergebnisse

Die Jahresergebnisse ergeben sich aus dem Saldo von jährlichen Erträgen und jährlichen Betriebskosten und zeigen den betrieblichen Erfolg (Gewinn) der jeweiligen Biogasanlagen-Variante. Da der Bundeszuschuss nur bei der Realisierung von Biogasanlagen bis Ende Oktober 2002 gewährt wird, wurde das Jahresergebnis zusätzlich auch ohne Förderung dargestellt.

4.3.3 Der Wirtschaftlichkeitsvergleich von Monogülle- und Kofermentationsanlagen

Abbildung 25: Vergleich von Wirtschaftlichkeitberechnungen

	nach HESSENERGIE 1999*	Kempkens 2000a Landwirtschaftskammer Rheinland	nach Oechsner/Knebelspiess 1999*	KATALYSE 2000 eigene Berechnungen
Allgemeine Daten zu Biogasanlagen				
I. Anzahl GV (Rinder)	120 GV	100 GV	100 GV	100 GV
II. Art des Grundsubstrates und der Kofermente	Gülle + Fette + Grünschnitt	(A) nur Gülle (B) + Silomais (C) + Speiseabfall	(A) nur Gülle (B) + 10 %Fette (C) + 20 %Fette (D) + 50 %Fette	(A) nur Gülle (mit freier Kapazität) (B) + Corn-Cob-Mix (C) + Fette (ca. 30 %)
III. Menge an Kofermenten im Jahr	gesamt 500 t	(A) 0,0 (B) 7 ha Mais (C) 480 t Speisereste	(A) 0,0 (B) 204 m ³ Fette (C) 456 m ³ Fette (D) 1.825 m ³ Fette	(A) 0,0 (B) 15 ha Corn-Cob-Mix (C) + 600 t Fette
IV. Fermentervolumen	300 m ³	(A) 263 m ³ (B) 315 m ³ (C) 342 m ³	(A) 222 m ³ (B) 247 m ³ (C) 278 m ³ (D) 444 m ³	300 m ³
V. Hydraulische Verweilzeit in Tagen	44	45-60	40	40
VI. Investition/je GV	2.167 DM	(A) 1.970 DM (B) 2.640 DM (C) 4.606 DM	(A) 1.290 DM (B) 1.709 DM (C) 1.965 DM (D) 3.346 DM	(A) 2.127 DM (B) 2.748 DM (C) 2.541 DM

	nach HESSENENERGIE 1999*	Kempkens 2000a Landwirtschaftskammer Rheinland	nach Oechsner/Knebelspieß 1999*	KATALYSE 2000 eigene Berechnungen
Wirtschaftlichkeitsberechnungen				
VII. Investitionskosten Gesamtkosten der Biogasanlage in DM netto	260.000 DM	(A) 197.000 DM (B) 264.000 DM (C) 460.600 DM	(A) 129.000 DM (B) 170.900 DM (C) 196.460 DM (D) 334.590 DM	(A) 212.750 DM (B) 274.850 DM (C) 254.150 DM
VIII. Förderung Marktanzreiz- programm ^x (Bundeszuschuss)	78.000 DM (=Landesförderung)	(A) 53.000 DM (B) 72.000 DM (C) 53.000 DM	53.000 DM 53.000 DM 53.000 DM 53.000 DM	(A) 53.000 DM (B) 91.000 DM (C) 53.000 DM
IX. Biogas- und Methanerzeugung (Volumen)	k.A.	(A) 62050 m ³ Biogas (B) 125680 m ³ Biogas (C) 167650 m ³ Biogas	(A) 32120 m ³ Methan (B) 52.200 m ³ Methan (C) 77.745 m ³ Methan (D) 214.620 m ³ Methan	(A) 42000 m ³ Methan (B) 73.500 m ³ Methan (C) 93.440 m ³ Methan
X. Stromeinspeisung DM-Erlöse aus Stromverkauf (0,20 DM/kWh)	28.240 DM	(A) 25.300 DM (B) 58.050 DM (C) 77.440 DM	(A) 20.670 DM (B) 33.600 DM (C) 50.030 DM (D) 138.110 DM	(A) 27.030 DM (B) 47.300 DM (C) 60.130 DM
XI. Wärmenutzung Heizölsubstitution im Wohnbereich	3.200 DM	(A) 2.500 DM (B) 2.500 DM (C) 2.500 DM	(A) 1.577 DM (B) 1.577 DM (C) 1.577 DM (D) 1.577 DM	(D) 2.370 DM (E) 2.370 DM (F) 2.370 DM
XII. Erlöse für Kofermente Entsorgungserlös oder Stilllegungs- prämie (600 DM/ha)	35 DM/t	(A) ----- (B) 4.200 DM (C) 24.000 DM	(A) ----- (B) 7.097 DM (C) 14.194 DM (D) 35.485 DM	(A) ----- (B) 9.000 DM (C) 15.000 DM

	nach HESSENERGIE 1999*	Kempkens 2000a Landwirtschaftskammer Rheinland	nach Oechsner/ Knebelspieß 1999*	KATALYSE 2000 eigene Berechnungen
XIII. Dungwert Mineraldüngerersatz	-----	(A) 2.000 DM (B) 2.000 DM (C) 2.000 DM	-----	-----
XIV. Summe Erträge/Jahr	50.540 DM	(A) 29.800 DM (B) 66.750 DM (C) 105.940 DM	(A) 22.250 DM (B) 42.270 DM (C) 65.800 DM (D) 175.170 DM	(A) 29.400 DM (B) 58.670 DM (C) 77.500 DM
XV. Summe Betriebskosten/Jahr (Reparatur, Wartung, Abschreibung, Zinsen, Zündöl, Lohnkosten, Versicherungen)	33.100 DM	(A) 28.560 DM (B) 57.930 DM (C) 75.170 DM	(A) 21.100 DM (B) 29.310 DM (C) 36.040 DM (D) 69.620 DM	(A) 31.730 DM (B) 46.820 DM (C) 47.470 DM
XVI. Jahresergebnis <u>mit</u> Förderung	17.440 DM	Monogülle: 1.240 DM Silomais: 8.820 DM Speiseabfall: 30.770 DM	Monogülle: 1.150 DM +10 % Fett: 12.960 DM +20 % Fett: 29.760 DM +50% Fett: 105.550 DM	Monogülle: -2.330 DM +Corn-Cob: 11.850 DM +30% Fett: 30.030 DM
Nach Ende des Förderzeitraum ab 16.10.2002				
XVII. Jahresergebnis <u>ohne</u> Förderung	9.340 DM	Konnte aufgrund fehlender Daten nicht rückgerechnet wer- den.	(A) -440 DM (B) 11.370 DM (C) 28.170 DM (D) 103.960 DM	(A) -3.390 DM (B) 9.120 DM (C) 28.440 DM

* In den Quellen wurde mit der alten Stromeinspeisevergütung von 0,1469 DM/kWh gerechnet, die Berechnungen für die Erlöse aus dem Stromverkauf wurden auf Grundlage des EEG mit 0,20 DM/kWh neu berechnet. * Die KTBL-Berechnungen berücksichtigen nicht den Bundeszuschuss aus dem Marktanzreizprogramm. Es wurden daher zusätzliche Berechnungen angestellt, die den jeweiligen Förderbetrag berücksichtigen.

4.3.4 Übersicht der Hintergrund-Daten

Abbildung 26: Hintergrund-Daten und Annahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

nach HESSENENERGIE 1999*	Kempkens 2000a Landwirtschaftskammer Rheinland	nach Oechsner/Knebelspieß 1999*	KATALYSE 2000 eigene Berechnungen
<ul style="list-style-type: none"> Mittlere Raumbelastung: 1,29 kg oTS/m³/d Zündstrahlaggregat: Elektrischer Wirkungsgrad: 28 %; Thermischer Wirkungsgrad 55 %; Laufzeit Motoren: 5.400 h/a (15 h/d) Gülleraumerweiterung für Kofermente: Silage: 80 DM/m³ Heizöl- und Zündölkosten: 0,50 DM/Liter Arbeitszeitbedarf: in Betriebskosten enthalten: k.A. Wärmeenergie zur Beheizung des Wohnhauses (keine Angabe der m²) (80.000 kWh = 4.000 DM) Abschreibungszeitraum: 15 Jahre Zinsen 6 % Amortisation: 10,5 Jahre Inanspruchnahme der Landesförderung <p>(Akh = Arbeitskräftestunden)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Gaserträge: Rindergülle: 25 m³/t Silomais: 202 m³/t Speiseabfall: 220 m³/t Energie: 6,5 kWh/m³ Biogas Zündstrahlaggregat: Elektrischer Wirkungsgrad: 30-37 %; Thermischer Wirkungsgrad 50 %; Laufzeit Motoren: 7500 h/a (20,5 h/d) Gülleraumerweiterung für Kofermente: Silage: 80 DM/m³ Heizöl- und Zündölkosten: 0,50 DM/Liter Arbeitszeitbedarf: 200 Akh/Jahr (Gülle) 300-350 Akh/Jahr (Mais) 0,75 Akh/t Speiseabfall Wärmeenergie zur Beheizung des Wohnhauses (keine Angabe der m²) Dungwertverbesserung 20 DM/GV Abschreibungszeitraum: 15 Jahre Zinsen 5,2 % von 1/2 Nettoinvest. Ausnutzung der Bundesförderung Anbaukosten Stilllegung: 1.600 DM/ha Prämie: 600 DM/ha und Denaturierungsmaßnahmen: 200 DM 	<ul style="list-style-type: none"> Gaserträge: Rindergülle: 250 l Methan/kg OTS_{zu} Fette: 500 Liter Methan/kg OTS_{zu} Energie: 9,75 kWh/m³ Methan Zündstrahlaggregat: 30 % Stromerzeugung 30 % Nutzbare Wärme 20 % Prozessenergie 20 % Verluste Laufzeit Motoren: 6.570 h (18 h/d) Heizöl- und Zündölkosten: 0,40 DM/Liter Arbeitszeitbedarf: 166 Akh/Jahr (Gülle) 238 Akh/Jahr (Gülle + 10 % Fette) 330 Akh/Jahr (Gülle + 20 % Fette) 719 Akh/Jahr (Gülle + 50 % Fette) Wärmeenergie wird zur Beheizung des Wohnhauses (250 m²) genutzt Abschreibungszeitraum: Technik: 8 Jahre Bau: 16 Jahre Zinsen 6 % von 1/2 Nettoinvest. Inanspruchnahme der Bundesförderung 	<ul style="list-style-type: none"> Gaserträge: Rindergülle: 250 l Methan/kg OTS_{zu} Fette: 500 l Methan/kg OTS_{zu} Corn-Cob-Mix: 425 m³/t Energie: 9,75 kWh/m³ Methan Zündstrahlaggregat: 30 % Stromerzeugung 30 % Nutzbare Wärme 20 % Prozessenergie 20 % Verluste Laufzeit der Motoren: 6.570 h (18 h/d) Heizöl- und Zündölkosten: 0,60 DM/Liter Arbeitszeitbedarf: 166 Akh/Jahr (Gülle) 420 Akh/Jahr (Gülle + Corn-Cob-Mix) 367 Akh/Jahr (Gülle + 500 t Fette) Wärmeenergie wird zur Beheizung des Wohnhauses (250 m²) genutzt, Abschreibungszeitraum: Technik: 8 Jahre Bau: 16 Jahre Zinsen 6 % von 1/2 Nettoinvest. Inanspruchnahme der Bundesförderung Anbaukosten Stilllegung: 1.600 DM/ha und Stilllegungsprämie: 600 DM/ha und Denaturierungsmaßnahmen: 200 DM

4.3.5 Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Unter Berücksichtigung des Bundeszuschusses aus dem Programm Erneuerbare Energien und der aktuellen Einspeisevergütung nach dem EEG arbeiten alle durchgerechneten Varianten von Kofermentationsanlagen unter den jeweils angenommenen Bedingungen gewinnbringend. Auffallend ist, dass die Inanspruchnahme des Bundeszuschusses aus dem Förderprogramm die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen nur relativ wenig verbessert, sondern als Marktanreizprogramm in erster Linie fehlendes Eigenkapital der zukünftigen Betreiber ersetzt. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist v.a. die hohe Einspeisevergütung von 0,20 DM/kWh, die auch kleinere Biogasanlagen durch eine Kofermentation landwirtschaftlicher Biomasse oder organischer Abfälle Gewinnmöglichkeiten eröffnet.

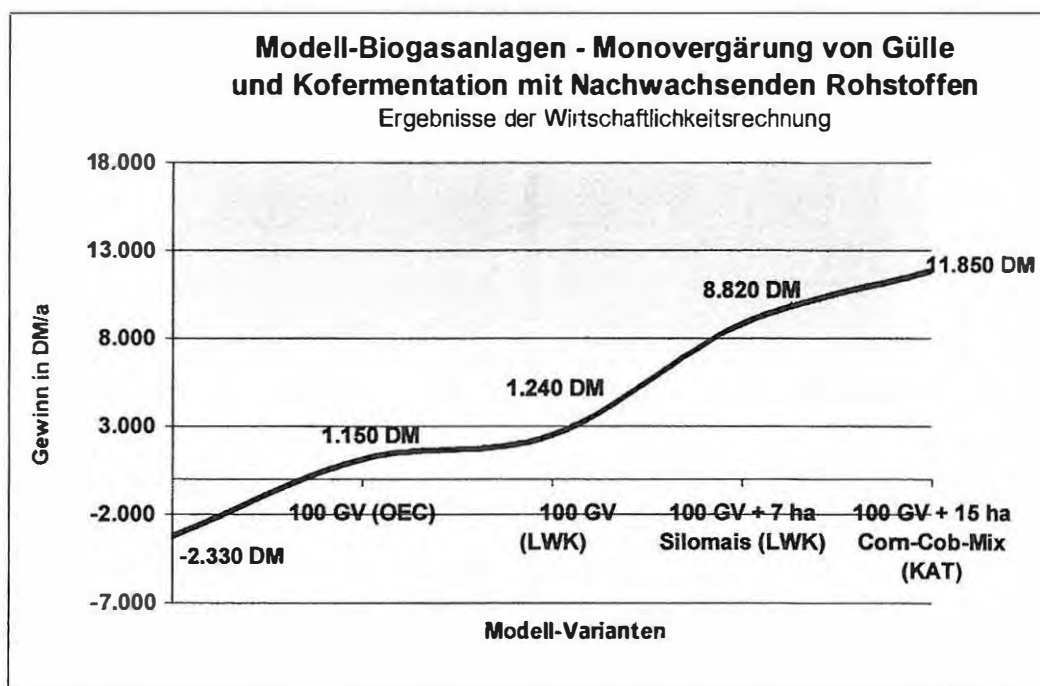
Biogasanlagen auf reiner Güllebasis (Monovergärung)

Biogasanlagen auf reiner Güllebasis (Monovergärung) erreichen bei einem Tierbestand von etwa 100 GV gerade die Kostendeckung. Zwei Rechenansätze zeigen kleine Gewinne von knapp über 1.000 DM/Jahr, während ein Rechenansatz einen Verlust von 2.300 DM/Jahr ausweist. Dieser Verlust ist auf ein zu großes Volumen des Fermenters (300 m³) und damit noch freie Kapazitäten zurückzuführen. Werden diese Kapazitätslücken durch Gülle geschlossen, kann die Anlage ebenfalls mindestens kostendeckend, bei Einsatz von Nachwachsenden Rohstoffen oder organischen Abfällen sogar gewinnbringend betrieben werden. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung ohne Bundeszuschuss (ab Herbst 2002) verschiebt die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit der Monovergärung auf 140 bis 160 GV. Grundsätzlich spielt bei der Planung und Realisierung von Biogasanlagen die Monovergärung heute jedoch nur noch eine untergeordnete Rolle, da der überwiegende Anteil der Biogasanlagen direkt als Kofermentationsanlagen geplant werden.

Biogasanlagen mit Kofermentation Nachwachsender Rohstoffe

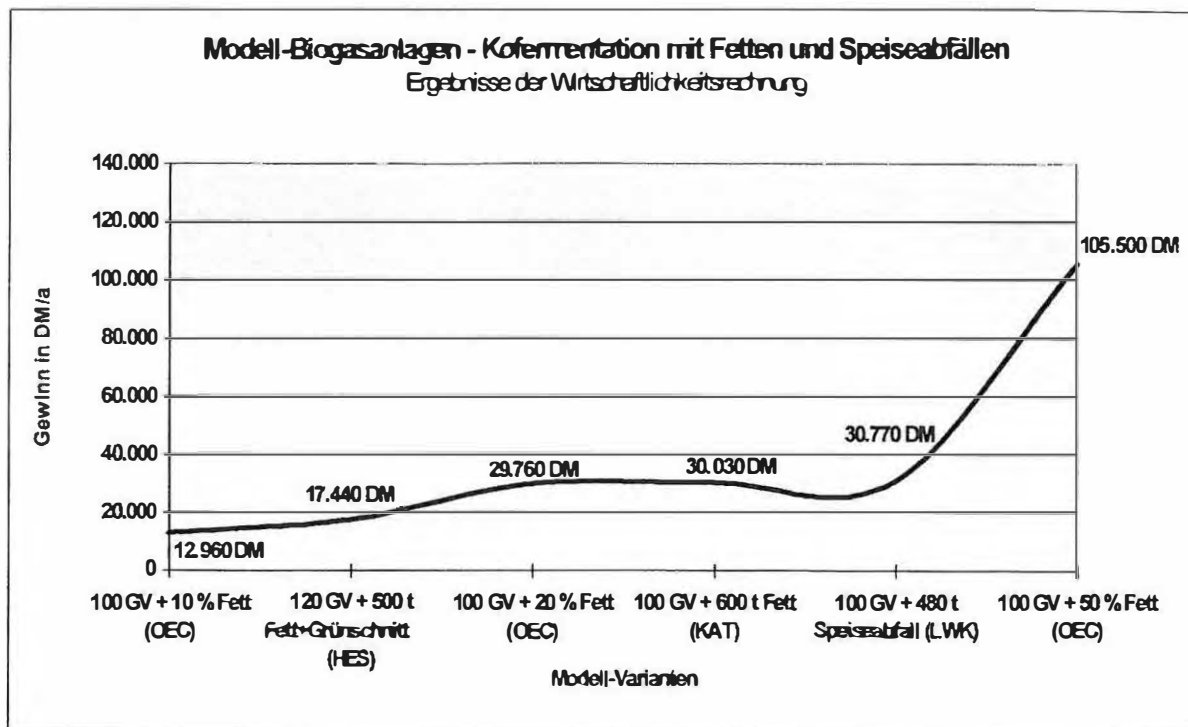
Gegenüber der Monovergärung von Gülle erzielen Biogasanlagen mit Kofermentation von Nachwachsenden Rohstoffen (Maissilage, Corn-Cob-Mix) akzeptable Gewinne, die rechnerisch zwischen 8.000 und 12.000 DM/Jahr liegen. Der Gewinn ohne Berücksichtigung des Bundeszuschusses (nach Herbst 2002) liegt mit 2.500 bis 3.000 DM entsprechend niedriger. Beim Vergleich von Energiepflanzen sowie Fetten und Speiseabfällen schneiden die organischen Abfälle deutlich besser ab. Dies liegt u.a. auch an der Annahme einer hohen Verweildauer von 40 Tagen. Mais, Corn-Cob-Mix und andere Feldfrüchte sind nach den bisherigen Praxiserfahrungen (die aber wissenschaftlich noch nicht bestätigt wurden) bereits nach 14 Tagen weitgehend abgebaut, so dass ein größerer Umsatz von Substraten und damit eine günstigere Wirtschaftlichkeit bei der Kofermentation angenommen werden kann.

Abbildung 27: Wirtschaftlicher Vergleich der Monovergärung von Gülle und der Kofermentation von Energiepflanzen



Bisher fehlen zur Kofermentation Nachwachsender Rohstoffe jedoch weitgehend noch wissenschaftliche Untersuchungen und abgesicherte und belastbare Daten, so dass die hier angenommenen Verweilzeiten eine eher übertriebene Sicherheit hinsichtlich des biologischen Abbaus darstellen. Grundsätzlich muss bei der Kofermentation von Nachwachsenden Rohstoffen jedoch berücksichtigt werden, dass das Gärvolumen größer und die Investitionskosten damit höher sind, wenn nicht ohnehin freie Kapazitäten einer bestehenden Anlage genutzt werden. Weiterhin erfordert der Zusatz von Kofermenten höhere Investitionen für die vorgeschaltete Aufbereitungs- und Behandlungstechnik, Annahmebehälter für Kofermente, Lagerbehälter für Gärgut sowie für ein größeres Blockheizkraftwerk.

Abbildung 28: Wirtschaftlicher Vergleich von Kofermentation mit Fetten und Speiseabfällen



Biogasanlagen mit Kofermentation von Fetten und Speiseabfällen

Biogasanlagen mit Kofermentation von Fetten und Speiseabfällen erzielen eindeutig die besten wirtschaftlichen Ergebnisse. Der Gewinn aus dem Betrieb der Biogasanlage wird in erster Linie durch den Anteil der Kofermente (Speiseabfälle und Fette) am Input bestimmt; er liegt je nach Anteil zwischen 13.000 DM und 107.000 DM/Jahr. Selbst der Wegfall des Bundeszuschusses und die ab 2003 einsetzende Degression der Einspeisevergütung belassen Kofermentationsanlagen bei einem Zusatz von mindestens 10 % Kofermente in der Gewinnzone. So kommt eine Biogasanlage (100 GV + 10 % Fette) auch ohne Bundeszuschuss immer noch auf einen jährlichen Gewinn von 11.370 DM. In einer erweiterten Rechnung wurde für den Zeitraum von heute bis zum Herbst 2002 ermittelt, in welchem Umfang Kofermente (Fette) eingesetzt werden müssen, um eine Biogasanlage auf Basis von 50 GV wirtschaftlich zu betreiben. Auch hier zeigt sich, dass selbst kleinere Kofermentationsanlagen bei der Kofermentation von 10 % Fett Gewinne erzielen und auch beim Wegfall des Bundeszuschusses kostendeckend arbeiten können.

Abbildung 29: Wirtschaftlicher Vergleich von kleinen, einzelbetrieblichen Kofermentationsanlagen mit 50 GV (nach OECHSNER/KNEBELSPIEB 1999)

	50 GV + 10 % Fette	50 GV + 20 % Fette	50 GV + 50 % Fette
Investitionskosten Gesamtkosten der Biogasanlage in DM netto	130.455 DM	143.246 DM	212.314 DM
Förderung (Bundeszuschuss)	41.000 DM	41.000 DM	41.000 DM
Summe Erträge/Jahr	22.830 DM	34.599 DM	89.169 DM
Summe Betriebskosten/Jahr (Reparatur, Wartung, Abschreibung, Zinsen, Zündöl, Lohnkosten, Versicherungen)	19.153 DM	24.952 DM	43.300 DM
Jahresergebnis mit Förderung	3.677 DM	9.647 DM	45.869 DM

Gemeinschafts-Biogasanlagen

Die vorliegenden Berechnungen (OECHSNER/KNEBELSPIEB 1999) zu Anlagen mit 300, 500 und 1000 GV wurden unter den derzeitigen Rahmenbedingungen (Einspeisevergütung; Bundeszuschuss) neu berechnet. Größere Kofermentationsanlagen zeigen durch eine Kostendegression, Wirkungsgradsteigerung des BHKW und eine bessere Energieverwertung grundsätzlich günstigere betriebswirtschaftliche Ergebnisse.

Unter diesen Gesichtspunkten ist der Betrieb von Gemeinschaftsanlagen vorteilhaft, da auch die Investitionskosten pro Betrieb teilweise deutlich geringer sind, als bei einzelbetrieblichen Biogasanlagen. Die Zukunft könnte daher aufgrund der relativ hohen Investitionen in Gemeinschafts-Biogasanlagen liegen. Hierbei unterscheidet man Gasverbundanlagen und Gülleverbundanlagen. Bei Gasverbundanlagen erzeugt jeder Landwirt sein Biogas in seiner Anlage. Das Biogas wird mittels Leitungen zur Energiezentrale transportiert, die so plziert wird, dass auch die Wärmeenergie möglichst vollständig genutzt wird. Die erzeugte Energie und Wärme kann vor Ort eingespeist bzw. genutzt werden. Bei Gülleverbundsystemen wird eine Biogasanlage zentral betrieben. Die Landwirte transportieren ihren Wirtschaftsdünger, und die Entsorger und Lieferanten von Kofermenten die Substrate zur der zentralen Biogasanlage. Das Gärgut wird an der Anlage gelagert oder direkt wieder zu den Landwirten zurück transportiert.

Abbildung 30: *Gemeinschafts-Kofermentationsanlagen unter Kofermentation von 10 % Fette*
(nach OECHSNER/KNEBELSPIEB 1999)

	250 GV + 10 % Fette	500 GV + 10 %Fette	1.000 GV + 10 % Fette
Investitionskosten Gesamtkosten der Biogasanlage DM netto	292.130 DM	494.220 DM	898.400 DM
Förderung (Bundeszuschuss)	88.000 DM	140.000 DM	225.000 DM
Summe Erträge/Jahr	106.677 DM	208.614 DM	412.487 DM
Summe Betriebskosten/Jahr (Reparatur, Wartung, Abschreibung, Zinsen, Zündöl, Lohnkosten, Versicherungen)	51.860 DM	75.247 DM	157.789 DM
Jahresergebnis <u>mit</u> Förderung	54.817 DM	133.367 DM	254.698 DM

Abbildung 31: *Faktoren, die sich beim Betrieb von Einzel- und Gemeinschaftsanlagen auf die Wirtschaftlichkeit auswirken* (nach HERRLING 1995)

Einzelanlage	Gemeinschaftsanlage
Hohe Motivation und Bereitschaft des Landwirts	Unterschiedliche Motivation an der Beteiligung einer Betreibergesellschaft
Problem: Ausreichendes Eigenkapital, steht derzeit aufgrund des Förderprogramms nicht mehr im Vordergrund	Kostendegression wird ausgenutzt, spezifische Kosten sind bei großen Anlagen geringer
Risiko allein beim Landwirt Tierbestand muß in der geplanten Größenordnung erhalten bleiben	Risiko tragen alle Beteiligten Tierbestand muss in der Summe erhalten bleiben
Kontrolle und Bedienung der Anlage wird im Tagesgeschäft erledigt	Hohe Kosten durch Beschäftigung Dritter
Gärreste müssen auf den selbstbewirtschafteten Flächen ausgebracht werden	Die Gärreste können nach jeweiligem Bedarf auf die landwirtschaftlichen Betriebe verteilt werden
Keine zusätzliche Transportbelastung	Zusätzliche Transportbelastungen
Wärmenutzung beschränkt sich i.d.R. auf den eigenen Betrieb	Standort der Biogasanlage kann nach Wärmeabnehmer gewählt werden
Wirkungsgrad und Stromausbeute ist geringer als bei größeren Motoren	Höhere Effizienz der Energiegewinnung

Optionen zur Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen

Unter veränderten Nutzungsbedingungen kann die Wirtschaftlichkeitsberechnung zu anderen Ergebnissen kommen. Wird z.B. nicht nur das Wohnhaus, sondern eine weitergehende Abwärmenutzung des Blockheizkraftwerkes wirtschaftlich realisiert (z.B. Heizung für Gewächshäuser, Trocknungsanlagen oder für Ferkelnester), können zusätzlich erhebliche Mengen Heizöl eingespart werden. Da im Biogasprozess rund 60 % der gewonnenen Energie in Form von Wärme entsteht, wird bisher der überwiegende Teil als Abwärme in die Umwelt abgegeben. Aus Sicht der Anlagenbetreiber wäre daher die Unterstützung der Wärmeenergienutzung von Biogasanlagen ein wichtiges und ergänzendes Element, um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern.

Für die Biogasverwertung können zukünftig möglicherweise auch Brennstoffzellen eingesetzt werden, die im Vergleich zur motorischen Verwertung höhere elektrische Wirkungsgrade und erheblich geringere Emissionen verursachen und damit sowohl die ökonomische Situation als auch die Klimabilanz der Biogasanlagen verbessern können.

4.4 Das Biogas-Potenzial für Nordrhein-Westfalen

Aus dem Angebot an dem Grundsubstrat Gülle oder aufbereitetem Mist ergibt sich die geographischen Schwerpunkte der Biogasnutzung in der Landwirtschaft. Dieser liegt v.a. in Intensivgebieten der Tierhaltung. In Nordrhein-Westfalen zählt v.a. das Münsterland dazu. 1998 sind in NRW folgende Mengen an Wirtschaftsdünger aus der Rinder- und Schweinehaltung angefallen (KTBL 2000B):

- 8,1 Mio. t/a Gülle aus der Rinderhaltung
- 16,4 Mio. t/a Gülle aus der Schweinehaltung
- 2,5 Mio. t/a Festmist aus der Rinderhaltung
- 2,2 Mio. t/a Festmist aus der Schweinehaltung
- 0,5 Mio. t/a Jauche aus der Rinderhaltung
- 0,9 Mio. t/a Jauche aus der Schweinehaltung

Das Potenzial der Biogaserzeugung in der Landwirtschaft Nordrhein-Westfalens kann über die Menge der Wirtschaftsdünger und dem verwertbaren Anteil organischer Abfallstoffe dargestellt werden. Diese Vorgehensweise orientiert sich jedoch am Aufkommen von organischen Rest- und Abfallstoffen und verstellt den Blick auf die vorhandenen Strukturen der Landwirtschaft in NRW, wie sie mit der letzten Landwirtschaftszählung 1999 ermittelt wurden (BMELF 2000A). Eine Verwertung von Wirtschaftsdüngern und organischen Abfällen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen ist meist nur in solchen Betrieben möglich, die über ausreichend Grundsubstrat (Gülle) verfügen. Eine kostendeckende oder gar gewinnbringende Verwertung der Monovergärung von Gülle scheint unterhalb der Grenze von 100 Großvieheinheiten (GV)² kaum realisierbar, wie die zuvor geführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen.

² Eine Großvieheinheit ist hier mit einem Lebendgewicht von 500 kg gleichzusetzen.

Bezogen auf den Umfang der Tierhaltung und damit der Verfügbarkeit des Grundsubstrates Gülle sind in NRW statistisch gesehen etwa 450 tierhaltende Betriebe in der Lage eine Biogasanlage wirtschaftlich zu betreiben, wenn deren Realisierung bis zum Herbst 2002 erfolgt (Ende der Laufzeit des Bundesförderprogramms). In dieser Zahl sind noch nicht die Betriebe enthalten, welche mehrere Tierarten in einer Summe von 100 GV und mehr halten. Ebenso wurden die Möglichkeiten des Betriebs von Gemeinschafts-Biogasanlagen nicht berücksichtigt.

Abbildung 32: Zahl der Betriebe mit größeren Tierbeständen in Prozent (Stand: 1999)

167 tierhaltende Betriebe (1,2 % aller Betriebe) besitzen 100 Milchkühe (100 GV) oder mehr und halten insgesamt 21.318 Kühen (5,1 % aller Milchkühe in NRW)
177 tierhaltende Betriebe (1,2 % aller Betriebe) besitzen 1.000 Mastschweine (100 GV) oder mehr und halten insgesamt 212.708 Mastschweine (8,2 % aller Mastschweine in NRW)
1.836 tierhaltende Betriebe (18,9 %) besitzen 100 Zuchtsauen oder mehr und halten insgesamt 309.692 Zuchtsauen (55,6 % aller Zuchtsauen in NRW), davon schätzungsweise 3 % mit über 100 GV entspricht ca. 55 Betriebe
1.668 tierhaltende Betriebe mit größeren Beständen an Legehennen oder Masthühnern mit insgesamt 1,3 Mio. Hennen und Hühnern, davon schätzungsweise 3 % mit über 100 GV entspricht ca. 50 Betriebe

Die Gärreste von Biogasanlagen müssen in der Regel auf die selbstbewirtschafteten Flächen aufgebracht werden. Da in Deutschland die Tierhaltung an die Fläche gebunden ist, müssen die Betriebe ausreichend landwirtschaftliche Nutzflächen bewirtschaften und damit die behandelten Gärreste verwertet werden können.

Abbildung 33: Zahl der Betriebe und ihre landwirtschaftliche Fläche in NRW (Stand: 1999)

Fläche	2 - 50 ha	50-100 ha	100-200 ha	200-500 ha	500-1000 ha	Summe
Anzahl der Betriebe	42.853	7.739	1.436	139	11	52.178
Durchschnittliche Flächenausstattung je landwirtschaftlichen Betrieb in NRW: 42 Hektar						

In NRW sind 9.325 Betriebe³ (einschließlich der Betriebe, die keine oder eine Tierhaltung unter 100 GV betreiben) in der Lage anfallende Gärreste aus einer Biogasanlage mit 100 GV und mehr auf eigenen Flächen zu verwerten.

Zu berücksichtigen ist allerdings, dass durch die Kofermentation bestimmter organischer Abfälle (wie z.B. Speiseabfall) zusätzliche Nährstoffe zur Verwertung auf den Betrieb gelangen, für die Flächen zur Verfügung stehen müssen oder falls möglich, eine entsprechende Substitution von mineralischen Düngern herbeigeführt werden muss. In jedem Fall müssen die Regelungen der Bioabfallverordnung und der Düngeverordnung einschließlich der "Guten Landwirtschaftlichen Praxis" (GLP) eingehalten werden. Die Verwendung von Gülle in der Landwirtschaft steht jedoch unter der Vorgabe der Düngeverordnung zunehmend vor dem Problem, dass die Nährstofffrachten über den Bedarf der Pflanzen hinausgehen. Dies trifft v.a. für Tiermastbetriebe zu, die keinen oder im Verhältnis zur Tierhaltung nur einen relativ kleinen Feldfruchtanbau betreiben.

4.5 Empfehlungen für die Hauptstudie

Zur Durchführung eines dezidierten ökonomischen Vergleichs des Einsatzes verschiedener Kofermente in landwirtschaftlichen Biogasanlagen liegen, wie die hier durchgeführten Beispielsrechnungen zeigen, ausreichend Daten vor. Aktuelle Wirtschaftlichkeitsdaten neuerer Anlagen werden im ersten Quartal 2001 vorliegen, so dass die Datenbasis auf eine breitere und belastbare Grundlage gestellt werden kann. Je nach Finanzumfang könnten in der Hauptstudie eine oder mehrere Fallstudien durchgeführt werden, um die Planungskalkulationen mit den wirtschaftlichen Ergebnissen in der Praxis zu vergleichen und zu bewerten.

³ Das Statistische Bundesamt differenziert bei den landwirtschaftlichen Flächen nicht nach Betrieben mit und ohne Tierhaltung.

5 Vorgehensweise für einen ökobilanziellen Vergleich

Hauptziel dieser Studie ist es die Möglichkeiten eines ökobilanziellen Vergleich für den Einsatz verschiedener außerlandwirtschaftlicher Kofermente zu untersuchen. Ausgangspunkt für die Erstellung eines ökobilanziellen Vergleichs ist die modellhafte *Darstellung der Stoff- und Energieströme* einer Biogas- bzw. Kofermentationsanlage. Ein Stoff- und Energiestrom-Modell ist eine gute Basis für einen ökobilanziellen Vergleich verschiedener Reststoffe, Abfälle und Biomassen eingesetzt als Kofermente in landwirtschaftlichen Biogasanlagen.

5.1 Methodik für einen ökobilanziellen Vergleich von Kofermenten

Als System für den ökologischen Vergleich von Kofermenten empfehlen wir die Bilanzierungs- und Bewertungsmethodik anzuwenden, wie sie in der Veröffentlichung „Ökologische Bilanzen in der Abfallwirtschaft“ des Umweltweltbundesamtes ausführlich dargelegt ist (UBA 1999). Das Instrument der Ökobilanzierung, durchgeführt nach den Standards des Umweltbundesamtes, wird seit einigen Jahren in Deutschland zur Identifizierung und Bewertung der Umweltwirkungen von Produkten und Prozessen eingesetzt. Dem Auftraggeber ist diese Methodik aus der Studie "Ökobilanzielle Anforderungen an die Co-Fermentation von biogenen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen" bekannt. Bei der Entwicklung des ökologischen Vergleichs von Kofermenten sind zwei grundsätzlich abweichende Voraussetzungen gegenüber der Standardmethodik zur Erstellung einer Ökobilanz zu beachten:

1. Durch die Behandlung in einer Biogasanlage treten Materialveränderungen der Kofermente auf. Zum einen werden die Kofermente mit Wirtschaftsdüngern vermischt und dadurch verdünnt, zum anderen werden Nähr- und Schadstoffe durch den Masseverlust beim Abbau des organischen Materials während der Vergärung angereichert. Die in Kofermenten und der Gülle enthaltenen stickstoffhaltigen Komponenten gelangen nicht ins Biogas, sondern werden zu Ammonium und Nitrat umgewandelt und verbleiben im Gärrest.
2. Die Lebenswegbetrachtung der Kofermente beginnt zum Zeitpunkt bzw. am Ort der Abfall-Entstehung. Die Entstehung der Kofermente ist für die Frage des ökologischen Vergleichs und der anschließenden Verwertung nicht von Relevanz, da es sich um Abfälle handelt, die ohnehin entstehen und wird daher nicht berücksichtigt. Die Lebenswegbetrachtung der Kofermente endet nicht, wie bei den meisten Abfällen durch Verbrennung, Recycling oder Deponierung, sondern umfasst einen messbaren Nutzen in der landwirtschaftlichen Verwertung, der als Bestandteil in den ökobilanziellen Vergleich einfließen muss.

5.2 Bilanzraum und Systemgrenzen

Voraussetzung für die Erstellung eines ökobilanziellen Vergleichs ist die Definition eines Bilanzraumes. Ein Vorschlag hierzu wurde erarbeitet und wird nachfolgend dargestellt. Eine endgültige Festlegung des Bilanzraumes und der Systemgrenzen sowie die Auswahl der zu vergleichenden Kofermente sollte im Vorfeld der Hauptstudie in Absprache mit dem Auftraggeber erfolgen.

Der Bilanzraum umfasst alle in ihrer Umweltwirkung relevanten Prozesse, vom Transport der Kofermente zur Biogasanlage bis zur Ausbringung des Gärrestes auf die landwirtschaftliche Flächen. Zur Ermittlung aller relevanten Umweltwirkungen ist vorgesehen auch die direkten Auswirkungen der ausgebrachten Gärreste zu berücksichtigen (u.a. Treibhausgas-Emissionen, Schadstoff- und Nährstoffeinträge). Die zu betrachtenden Substanzen umfassen Wirtschaftsdünger (überwiegend Gülle), organische Abfälle (überwiegend aus der Lebensmittelverarbeitung) sowie nachwachsende Rohstoffe (v.a. Energiepflanzen). Die Bilanzierung dieser Stoffe erfolgt ab dem Zeitpunkt ihrer Entstehung; davor liegende umweltrelevante Auswirkungen beispielsweise der Lebensmittelverarbeitung oder der Tierhaltung werden nicht in den Bilanzraum einbezogen. Der Anbau von Energiepflanzen für den Einsatz in Kofermentationsanlagen muss dagegen betrachtet werden.

Die „Lebensweg“-Betrachtung der Kofermente beginnt mit dem Transport zur Biogasanlage und setzt sich über die Lagerung und der Vorbehandlung (Zerkleinerung, Abtrennung von Störstoffen, evtl. Hygienisierung durch Pasteurisierung) bis hin zur Ausbringung auf den landwirtschaftlichen Flächen fort, wobei Folgeprozesse (Boden- und Grundwasserbelastung, Aufdüngung usw.) soweit sie quantifiziert werden können, Bestandteil des Bilanzraums sind. Eine Beurteilung einer möglichen Anreicherung in Boden oder Wasser und der damit verbundenen toxischen Wirkungen ist jedoch im Rahmen des ökologischen Vergleichs nicht vorgesehen, da hierzu eine Vielzahl ortsbezogene Analysen (Bodenart, Bodenqualität usw.) Voraussetzung sind.

Da das Grundsubstrat aus Wirtschaftsdüngern ohnehin in landwirtschaftlichen Betrieben anfällt und die Gülle in der Regel in Güllebehältern gelagert wird, findet der Transport vom Stall in das Güllelager im Bilanzraum keine Berücksichtigung. Eingang hingegen findet der Energieaufwand zur Befüllung des Fermenters (Pumpen). Sollen in der Hauptstudie Gemeinschafts-Biogasanlagen in den Vergleich einbezogen werden, wird der Transport der Gülle zur Zentralanlage berücksichtigt.

Für den ökologischen Vergleich sind Stoff- und Energieflüsse des Systems, die aus der Umwelt hineinkommen bzw. in die Umwelt zurückgeführt werden, zu bilanzieren. Bei diesem ökologischen und ökonomischen Vergleich sollen nicht Anlagen oder Prozesse bilanziert und bewertet, sondern die Zuschlagsstoffe (Kofermente) zu den Rohstoffen (Grundsubstrate wie Gülle) für zwei nutzbare Endprodukte (Gärreste und Biogas). Um genau definierbare Systemgrenzen zu erhalten, werden die Umweltbelastungen der Investitionsgüter, also der Bau der Biogasanlage mit allen Komponenten sowie der spätere Abbruch bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt. Der Bau einer landwirtschaftlichen Biogasanlage kommt in der Regel nur

zustande, wenn ausreichend Grundsubstrat (Gülle) zur Verfügung steht und ist somit direkt von den vorhandenen landwirtschaftlichen Strukturen in dem jeweiligen Betrieb abhängig. Weiterhin werden nicht berücksichtigt:

- Außerhalb der Biogasanlage befindliche Einrichtungen, die direkt und indirekt für den Betrieb (z.B. Umspanneinrichtungen, Straßenbau usw.) genutzt werden, die grundsätzlich vorhanden sein müssen aber nicht zwingend für die Verwendung von Kofermenten hinzugefügt werden und
- Aufwendungen für die Durchführung von notwendigen Analysen und Messungen, die seitens der Behörden oder anderer Institutionen vorgeschrieben sind.

Die geographische Systemgrenze ist mit dem Bundesland Nordrhein-Westfalen gleichzusetzen. Dies stimmt hinsichtlich des Lieferbereichs von außerlandwirtschaftlichen Kofermenten zu einzelbetrieblichen Biogasanlagen überein, die überwiegend regional, meist aus einem Umkreis von max. 40 km bezogen werden. Bei großen Anlagen, wie etwa Gemeinschafts-Biogasanlagen, sind aufgrund einer größeren Abnahme von Kofermenten auch mittlere Transportentfernungen von bis zu 300 km üblich.

Die Abschneidegrenze für Vorketten der Input-Materialien soll, wie bei fast allen ökologischen Bilanzierungen bei 1 Prozent liegen. Danach werden Hilfs- und Betriebsmittel nur bilanziert, wenn sie mehr als 1 % der Masse des Outputs des Prozesses ausmachen.

5.3 Auswahl der Kofermente

Die Auswahl der Kofermente wird erst nach Absprache mit dem Auftraggeber endgültig festgelegt. Folgende Kofermente und Grundsubstrate werden vorgeschlagen:

- Drei Grundsubstrate: Rindergülle, Schweinegülle und Hühnergülle
- Drei Kofermente aus der Lebensmittelverarbeitung: Kartoffelschlempe, Bierfiltrat, Gemüseabfälle
- Zwei Kofermente, die einer Hygienesierung bedürfen: Speiseabfall und Flotatfett
- Zwei Kofermente aus landwirtschaftlicher Herkunft: Silomais und Futterrüben

Abbildung 34: Übersicht über die zu betrachtenden Stoff- und Energieströme

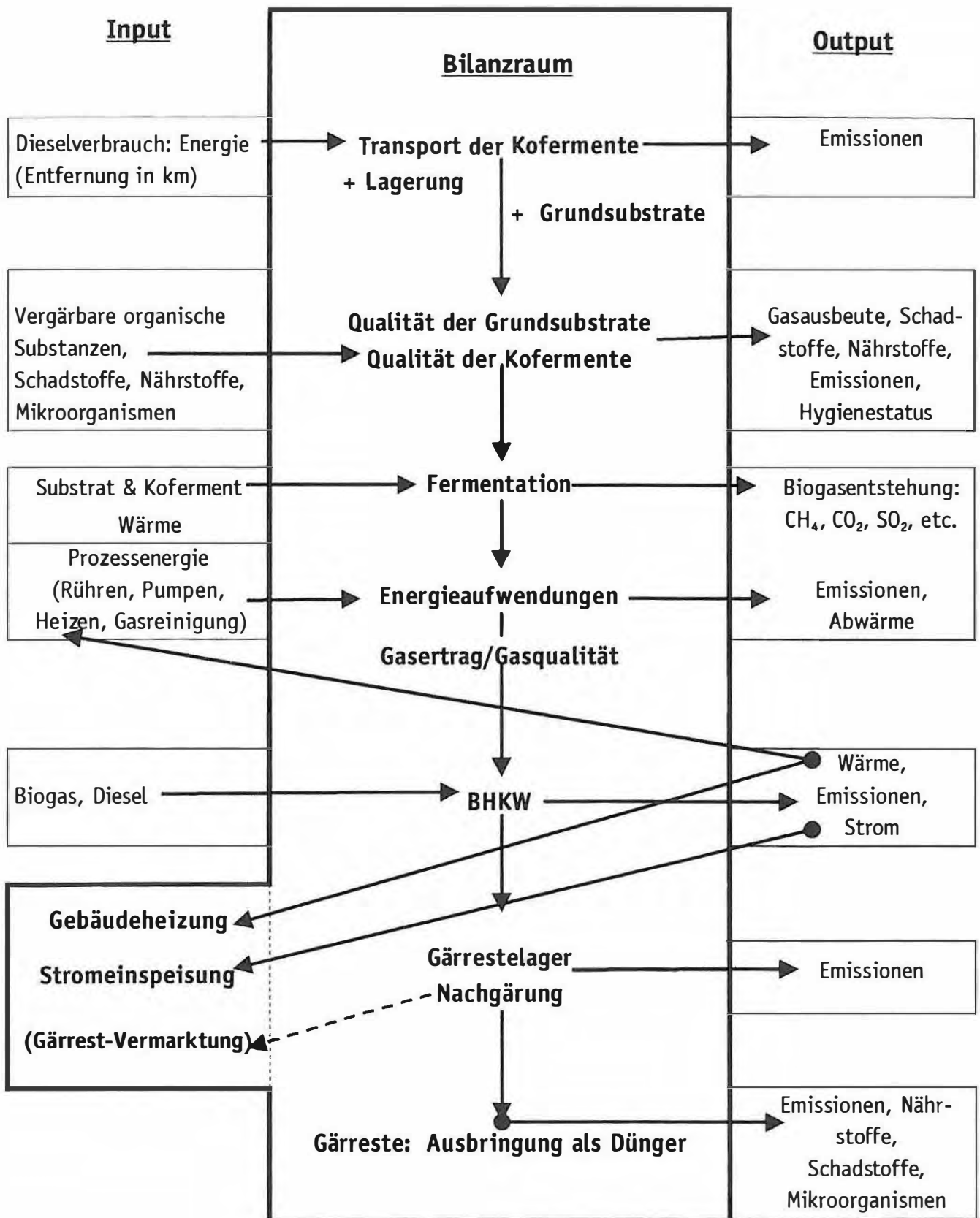


Abbildung 35: Übersicht über die Systemgrenzen

<u>Systemgrenzen</u>	<u>Bilanzraum</u>
<p>Lärm, Geruch, ästhetische Faktoren, Landverbrauch</p> <p>Entstehung Kofermente</p> <p>Entstehung Grundsubstrate</p> <p>Transport Grundsubstrate</p> <p>Aufwendungen für Analytik und Kontrollen</p>	<p>Transport + Lagerung Kofermente</p> <p>Grundsubstrate aus dem Betrieb</p> <p>Qualität der Grundsubstrate und der Kofermente</p>
<p>Bau des Fermenters</p> <p>Elektrische Energie für Steuerung</p>	<p>Fermentationsprozess</p> <p>Energieaufwendungen u. -gewinne</p> <p>Biogasbildung und Gasreinigung</p>
<p>Herstellung und Bau der Technik</p> <p>Nutzung externer Einrichtungen</p>	<p>Energieerzeugung im BHKW</p>
<p>Transport und Ausbringung</p>	<p>(Emissionen aus) Gärrestelager</p> <p>Nachgärung</p> <p>Gärreste: Aufbringung als Dünger</p>

5.4 Varianten eines ökobilanziellen Vergleichs von Kofermentationen

Für die Bewertung der ökobilanziellen Vergleichbarkeit von Kofermenten zwei Vorgehensweisen erarbeitet, die nachfolgend vorgestellt werden.

- A. Erstellung eines ökobilanziellen Vergleichs auf der Grundlage einer theoretischen Modell-Biogasanlage anhand von Literatur- und verfügbaren Praxisdaten.
- B. Vollständige Datenerhebung an einer neuen Praxisanlage, basierend auf einem wissenschaftlich begleiteten Mess- und Analyseprogramm, und anschließende Ausarbeitung eines ökobilanziellen Vergleichs auf Grundlage der erhobenen Daten.

Die Entscheidung für eine der beiden Varianten ist abhängig von dem zu definierenden Zielen des ökobilanziellen Vergleichs und den Finanzierungsmöglichkeiten eines solchen Projektes. Die Varianten des ökobilanziellen Vergleichs werden nachfolgend im Detail dargestellt.

5.5 Variante A: Vergleich auf Basis einer Modell-Biogasanlage

5.5.1 Definition einer Modell-Biogasanlage

Ökobilanzen bewerten Energie- und Stoffflüsse von klar definierten Prozessen innerhalb eines bestimmten Rahmens und sind daher in der Regel nur *für einen bestimmten Anwendungsfall* und nur unter den dabei getroffenen Annahmen aussagekräftig. Der standort-unabhängige Ansatz der Ökobilanzmethode ermöglicht keine Beurteilung lokaler Wirkungen (z.B. die Verlagerung von Nährstoffen in das Grundwasser). Die Ergebnisse des ökologischen Vergleichs sind daher nur mit Vorbehalten auf konkrete Kofermentationsanlagen in der Praxis übertragbar.

Um einen Vergleich verschiedener Kofermente in der Landwirtschaft auf der *Grundlage von Literaturdaten* zu erstellen, ist es notwendig eine „theoretische“ fest definierte Modell-Biogasanlage zugrunde zu legen. Diese Modellanlage soll so gut wie möglich den Stand der Technik und die Praxis der Betriebsführung von Kofermentationsanlagen widerspiegeln, also einem repräsentativen Modell moderner Biogasanlagen gerecht werden. Die detaillierte Definition einer solchen Modellanlage erfolgt vor Beginn der Hauptstudie in einer intensiven Abstimmung zwischen dem Auftraggeber und Auftragnehmer, um bestimmte Annahmen und Anforderungen an die Daten der Modellanlage gemeinsam festzulegen und das Ziel des ökonomischen und ökologischen Vergleichs und die Verwendung der Ergebnisse zu präzisieren. Mit der Definition einer Modellanlage werden die Rahmenbedingungen und Parameter, die *nicht* vom Einsatz der jeweiligen Kofermente abhängig sind, festgeschrieben und als Konstanten definiert. Hierdurch wird es möglich die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen verschiedener Kofermente in einem Vergleich abzuschätzen. Die nachfolgende Aufstellung gibt einen vorläufigen Überblick über Rahmenbedingungen und Parameter einer

möglichst repräsentativen Modell-Biogasanlage. Soweit bei einzelnen Parametern Daten aufgeführt sind, verstehen sich diese als Vorschlag zur Definition der Modellanlage.

5.5.2 Datenblatt: Modell-Biogasanlage

a. Anlagen-, Prozess- und Betriebsparameter

Standort der Kofermentationsanlage

- Transportentfernung für Kofermente (Energie + Emissionen + fossile Rohstoffe)

Grundsubstrat

- Tierbestand (Rinder): 100 GV (andere Größenordnungen (GV) und Grundsubstrate (z.B. Schweinegülle) können ebenfalls in den Vergleich aufgenommen werden)
- Flüssigmist-Anfall/d: $5,0 \text{ m}^3/\text{d}$ bei 100 GV
- oTS Rindergülle: $5,0 \text{ m}^3 \times 70 \text{ kg}/\text{m}^3 = 350 \text{ kg}/\text{d}$ (oTS 7 %)
- Methan aus Flüssigmist $0,25 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg oTS} = 250 \text{ l Methan}/\text{kg oTS}_{20}$

Kofermente

- Die Art und Menge der eingesetzten Kofermente werden noch festgelegt
- Durchsatz Kofermente: je nach Vergleichsvariante 10-40 % des Gesamtinputs, spezifischer oTS-Gehalt als Grundlage der Biogaserzeugung

Substrat-Lagerung

- Lagerkapazität Substrate: für 1/2 Jahr = 1.000 m^3

Biogaslagerung

- Lagerdauer des Biogases für 18–24 Stunden (muss noch festgelegt werden)
- Niederdruckspeichersystem im Foliensack

Energieerzeugung (BHKW)

- Energie aus Methan: $9,75 \text{ kWh}/\text{m}^3 \text{ Methan}$ (aus Biogas $6,5 \text{ kWh}/\text{m}^3$)
- Energie aus Zündöl: 10 % der eingesetzten Energie aus Zündöl (Zündölverbrauch ist abhängig von der BHKW-Leistung)
- Laufzeit BHKW 18 – 24 Stunden (noch festzulegen)
- Leistung des BHKW: 70 - 100 kW (noch festzulegen, abhängig von Fermentervolumen)

Quotierung der Gasverwertung

- 30 % Strom (= elektrischer Wirkungsgrad); 20 % Prozessenergie,
- 30 % Nutzbare Wärme; 20 % Verluste

Prozessdaten

- Verweilzeit: 30–35 Tage in mesophiler Betriebsweise (Option: thermophile Bw.)
- Fermentervolumen: 320–360 m³ (noch festzulegen) im kontinuierlichen Verfahren mit mechanischen Rührsystem
- 20 % des erzeugten Stroms, wird für den Prozessbedarf angesetzt

Wärmenutzung

- Wärmenutzung für Wohnfläche: 250 m²; Wärmebedarf für 250 m²: 40.000 kWh/a bei einem Wirkungsgrad von 85 % = 47.000 kWh/a
- 20 % der Wärmeenergie als Prozesswärme

b. Ökonomische Parameter

Investitionen

- Kosten Fermenter + Gärrestelager
- Kosten Technik für Stromerzeugung/Gasnutzung
- Kosten Kofermentation
(Anlagenteile: Aufbereitung, Zerkleinerung, Homogenisierung, Hygienisierung)
- Bundeszuschuss berücksichtigen

Erträge

- Ertrag aus Stromverkauf: 0,20 DM/kWh
(für die Jahre nach 2002 unter Berücksichtigung der Abschläge im EEG)
- Ertrag aus Wärmeeinsparung (Heizölsubstitution)
- Ertrag aus Kofermente (Abfall): 25 DM/t

Betriebskosten

- Abschreibung Bau (6,25 % bei 16 Jahren)
Abschreibung Technik (12,5 % bei 8 Jahren)
- Kapitalzinsen (aktueller Marktzins oder KfW-Zinssatz)
- Reparatur und Wartung v. Gebäuden (1 %) und Technik (4 %)
- Versicherungskosten (0,2 % der Gesamtinvestition)
- Arbeitszeit für Anlagenunterhaltung: 220 – 250 h/a bei Vergleichslohn Landwirtschaft: 25 DM/h
- Zündölverbrauch (aktueller Dieselpreis)

5.5.3 Beurteilung der Datenlage

5.5.3.1 Transport der Kofermente

Eine zentrale Erfassung der Daten über Mengen und Herkunft der verwendeten Kofermente ist derzeit nicht verfügbar und kann folglich nur initial über eine Evaluierung anhand bestehender Biogasanlagen erfolgen. Um die transportbedingten Umweltbelastungen bei entsprechender Eignung des Kofermentes gegenüberstehenden zusätzlichen Gaserträge bewerten zu können, ist es notwendig Mengen und Transportentfernungen zu ermitteln. Damit kann das Substitutionspotenzial von Biogas gegenüber fossilen Energieträgern zur Strom- und Nutzwärmeerzeugung in einem ökobilanziellen Vergleich berechnet und bewertet werden. Aufgrund der derzeit meist regionalen Herkunft (Umkreis von bis zu 40 km) von Kofermenten erscheint die Verwendung von Entfernungspauschalen bei der Berücksichtigung der Umweltwirkungen des Transportes von Kofermenten sinnvoll. Größere Transportentfernungen werden in der Regel nur dann anfallen, wenn sehr große Mengen Kofermente abgenommen werden können. Dies ist nur bei sehr großen Fermenterkapazitäten z.B. von Gemeinschafts-Biogasanlagen möglich und stellt eine Ausnahme dar. Des Weiteren können anhand der evaluierten Daten Emissionen und Verbrauch an fossilen Energieträgern (Energie in Form von Treibstoff) auf Basis einer angenommenen durchschnittlichen Transportentfernung von Kofermente berechnet und in die ökobilanzielle Bewertung aufgenommen werden.

Gülle fällt in der Regel auf dem eigenen Hof an, wird in einem Güllebehälter aufgefangen und von dort aus in die einzelbetriebliche Biogasanlage gepumpt. Im Falle der Kofermentation ändern sich diese Aufwendungen nicht und werden daher im Vergleich nicht berücksichtigt.

Bei Gemeinschafts-Biogasanlagen werden die Transportwege der Gülle aus wirtschaftlichen Gründen immer relativ kurz sein: aufgrund des hohen Wassergehalts der Gülle sind wirtschaftliche Verhältnisse zur Anlieferung an die zentrale Biogasanlage nur zu wahren, wenn maximal 5 Kilometer zwischen dem Entstehungsort und der Biogasanlage liegen.

5.5.3.2 Grundsubstrat Wirtschaftsdünger und eingesetzte Kofermente

Als *Grundsubstrat* bei der Kofermentation in landwirtschaftlichen Biogasanlagen kommen v.a. Wirtschaftsdünger in Frage: Hühnergülle, Pferdemist, Rindergülle, Rinderjauche, Rindermist, Schafmist, Schweinegülle, Schweinejauche und Schweinemist. Vergärungsanlagen, die als Hauptsubstrat nicht Wirtschaftsdünger (< 50 %) verwenden und unabhängig von Tierhaltung betrieben werden, sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung, da sie in erster Linie als Entsorgungsbetrieb und nicht als landwirtschaftliche Biogasanlage charakterisiert werden müssen.

Die Herkunft und die Beschaffenheit der *Kofermente* kann in drei Bereiche differenziert werden:

- a. Landwirtschaftliche, pflanzliche Reststoffe wie Grasschnitt und Biomasse, die speziell zur Vergärung angebaut werden (Futterrüben, Silomais, Corn-Cob-Mix)

- b. Reststoffe und organische Abfälle aus der Lebensmittelverarbeitung und der Zulieferindustrie (Grundstoffe für Nahrungsmittel)
- c. Organische Abfälle aus anderen industriellen Branchen (Pharma-, Papier- und Textilindustrie usw.), kommunalen Sammlungen (Bioabfall, Grün- und Grasschnitt)

Die im ökobilanziellen Vergleich zu untersuchenden Kofermente sind mit dem Auftraggeber im einzelnen, vor dem Hintergrund der Zielsetzung des Projektes festzulegen. Als Auswahlkriterien bieten sich verschiedene Möglichkeiten an:

- gängige, derzeit in der Praxis häufig verwendete Kofermente,
- nach ihrer Eignung (z.B. hohes Gaspotenzial, geringe potenzielle Schadstoffbelastung, geringer Nährstoffgehalt),
- in verwandten Bereichen bereits zugelassene Kofermente (z.B. Positivliste von Kofermenten für die Kofermentation in Kläranlagen),
- Kofermente, für die bereits umfangreiche und gesicherte Daten vorliegen
- Kofermente, die besonders geeignet erscheinen weil sie schadstoffarm und nährstoffneutral sind (z.B. Alkohol-Wasser-Gemische aus der Reinigung in der Lebensmittelindustrie)

Ökobilanzielle Parameter von Wirtschaftsdüngern und Kofermenten

- TS, oTS, Wassergehalt, C/N-Verhältnis
- Abbaugrad oTS
- pH-Wert
- Nährstoffe: (C-Gesamt, N-Gesamt, ggf. NH₄-N-Gehalt, Ammonium-Anteil, P-Gesamt, K-Gesamt, Mg-Gesamt, Ca-Gesamt)
- Schadstoffe: Cadmium, Quecksilber, Zink, Kupfer, Chrom, Nickel, Blei
- Belastungen mit Erregern und Keimen
- Methangehalt/-Ausbeute, ggf. CO₂, H₂S,

Die Qualität der Gärreste (Output) wird vor allem von der Beschaffenheit und Zusammensetzung des Inputs (Grundsubstrat + Kofermente) bestimmt. Dies gilt sowohl für die Menge und Qualität des erzeugten Biogases als auch analog für Belastungen des Gases und auch der Gärreste mit Schadstoffen, Störstoffen, Erregern usw., zumal die Herkunft der meisten Kofermente außerhalb der Landwirtschaft liegt und somit „betriebsfremde“ zusätzliche Belastungen eingetragen werden können. Eine eingehende Auseinandersetzung und Detaillierung der Substrate ist daher der zentrale Punkt bei der Bewertung der Umweltwirkungen. Zu berücksichtigende Auswirkungen sind u.a.:

- Eintrag von zusätzlichen Schadstoffen in den Prozess und damit ggf. in den landwirtschaftlichen Betrieb und auf die landwirtschaftliche Betriebsfläche,
- Eintrag von zusätzlichen Nährstoffen in den Prozess und auf Ausbringungsflächen,

- Zusätzliche Freisetzung von potenziell Treibhausgas-freisetzenden Substanzen (Methan, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid etc.),
- Eintrag von Phyto-, Zoo- und Humanpathogenen,
- Feststellung der Eignung des Kofermentes für die Biogaserzeugung (TS, oTS, Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Abbaugrad oTS, pH-Wert, Gaserzeugungspotenzial).

Belastbare Messergebnisse und aktuelle Literaturdaten zu Grundsubstraten und Kofermenten liegen in großem Umfang vor. Sie finden sich u.a. in KTBL 1998/1995, KTBL 1999, IfEU 2000, MITTERLEITNER 2000b, OECHSNER 2000. Stoffbezogen ist die Verfügbarkeit von Daten sehr unterschiedlich. Während für einen Teil der potenziellen Kofermente zahlreiche Daten vorliegen (z.B. Fette), sind für andere Kofermente z.B. aus der Zulieferindustrie der Lebensmittelverarbeitung nur vereinzelt Daten vorhanden. Nur zum Teil sind aktuelle Analyseergebnisse verfügbar. Die Datenlage kann insgesamt als qualitativ und quantitativ gut angesehen werden, um eine Auswahl für einen ökobilanziellen Vergleich treffen zu können. Sollten spezielle Kofermente in den Vergleich aufgenommen werden, können fehlende Daten durch eigene Untersuchungen kurzfristig ergänzt werden.

5.5.3.3 Der Biogasprozess

Ökobilanzielle Parameter

- Emissionen bezogen auf den eigentlichen Biogasprozess. Hierzu gehören v.a. Treibhausgase wie Methan, Stickoxide etc.

Durch die Vergärung von Wirtschaftsdüngern lassen sich in erheblichen Maße Emissionen von Treibhausgasen und Geruchsbelästigungen reduzieren. Inwieweit die Zugabe von Kofermenten die Gesamtbilanz des Biogasprozesses beeinflusst und inwieweit ökologische Vorteile gegenüber sonstigen Verwertungs- oder Entsorgungsarten zu erzielen sind, ist zu klären.

Zuverlässige Aussagen über den Fermentationsverlauf sind nur möglich, wenn sich die Ergebnisse als reproduzierbar erweisen. Erst durch die Reproduzierbarkeit kann beurteilt werden, inwieweit eine Betriebssicherheit bei einer kontinuierlich betriebenen Anlage besteht. Der Fermentationsverlauf wird in der Regel bisher nur *indirekt* durch Temperaturverläufe, pH-Wert-Änderungen und die jeweilige Gasbildungsrate charakterisiert und selbst diese Daten werden bei vielen bestehenden Anlagen nicht dokumentiert. Die eigentlichen mikrobiellen Abbau- und Umbauprozesse sind von ihren generellen Prinzipien und Wirkungen bekannt, es liegen jedoch keine Daten und Untersuchungen über die Einzelschritte der Fermentation vor. Wir schlagen daher vor, den Fermentationsprozess als „Black Box“ zu betrachten und die ökologische und ökonomische Bewertung über die Zusammensetzung und Qualität des In- und Output vorzunehmen.

Für klimarelevante Emissionen aus dem eigentlichen Biogasprozess liegen keine Messdaten vor. Vorbehaltlich wissenschaftlicher Analysen können die anfallenden Emissionen bei sach- und fachgerechtem Betrieb als sehr gering eingeschätzt werden, da es sich um ein geschlossenes System handelt. Im Rahmen der Erstellung einer Ökobilanz können Daten (z.B. in Zu-

sammenarbeit mit dem Agrikulturchemischen Institut der Universität Bonn) an Praxisanlagen gemessen werden. In diesem Zusammenhang könnte auch der Einfluss bestimmter Kofermente (z.B. Fette) auf die biologische Abbauraten von Wirtschaftsdüngern und auf die Gasausbeute eingehender wissenschaftlich untersucht werden.

5.5.3.4 Gasertrag, -reinigung und -qualität

Ökobilanzielle Parameter

- Gasmenge
- Gasqualität
- Verhältnis Methan zu CO₂
- Gehalte an Störstoffen und deren Entfernung, Verbleib bzw. Umweltwirkung (z.B. Entfernung von Schwefelwasserstoffe, in 92 % der landwirtschaftlichen Biogasanlagen durch Einblasen von Luftsauerstoff oder mittels Eisenoxid)
- Emissionen

Gasmenge und -qualität entscheiden u.a. über die Wirtschaftlichkeit der Anlage, die zu erwartende Lebensdauer des BHKW sowie über die Menge und Schadstoffgehalte von Emissionen. In der Praxis werden Gasausbeute und -qualität von den Landwirten meist nicht erfasst, sondern aus der Leistung des BHKW bzw. den Motorengeräuschen subjektiv geschätzt. Praxis- und Literaturdaten zu Emissionen sind verfügbar (u.a. Messungen an 10 Praxisanlagen durch die bayerische Landesanstalt für Umweltschutz (LFU 1997)).

Es empfiehlt sich, vor dem Hintergrund der Vergleichbarkeit der Daten, die gasertragsrelevanten Parameter aktuell in der Praxis zu erheben, möglicherweise können zusätzlich Daten aus Messungen der zuständigen Behörden verwendet werden. Die vorhandenen Literaturdaten können als Grundlage für eine ökologische Bewertung als ausreichend angesehen werden.

5.5.3.5 Betrieb des Blockheizkraftwerkes (BHKW)

Ökobilanzielle Parameter

- Energieverbrauch (Benzin, Diesel, Öl), Schmiermittel
- Emissionen (Abgas) (TA Luft, BImSchG), NO_x, CO, SO, SO_x, Ruß
- Abwärmenutzung
- Wirkungsgrad, Verhältnis Strom zu Wärme

Das BHKW als Verbrennungsaggregat hat im gesamten Biogasprozess große Umweltwirkungen sowohl bezüglich der Emissionen als auch bei der Substitution von endlichen Energieträgern. Derzeit werden hauptsächlich drei Bauarten von Motoren (KTBL 1998) eingesetzt: Gas-Otto-Benzinmotor, Gas-Otto-Dieselmotor und Dieselmotor mit Zündstrahlverfahren. Zukünftig wird es auch bei einer verbesserten Gasreinigung möglich sein, Brennstoffzellen für die Energieerzeugung aus Biogas zu verwenden. Wirtschaftlich gesehen wird sich diese Variante zunächst wohl nur bei großen Vergärungsanlagen durchsetzen können. Derzeit ist die Energieerzeugung mittels Zündstrahl-Dieselmotor das Verfahren der Wahl und besitzt die größte Marktdurchdringung. Dieser Motortyp sollte daher auch als Variante für den ökobilan-

ziellen Vergleich gesetzt werden. Technische Daten bezüglich der Leistung (thermisch, wie elektrisch), Wirkungsgrade, Daten über die Betriebskosten und die verwendeten Betriebsmittel sind in der Literatur, bei den Motorenherstellern und vereinzelt auch in veröffentlichten Messungen verfügbar. Es sind jedoch keine dezidierten Emissions-Messdaten aus der Praxis, vor allem in Bezug auf die jeweils verwendeten Kofermente und deren Einfluss auf die Emissionskonzentration verschiedener Schadstoffe, verfügbar.

5.5.3.6 Die Energiebilanz der Biogasanlage

In die Energiebilanz der Biogasanlage fließen sämtliche Energieaufwendungen (Aufbereiten, Zerkleinern, Pumpen, Rühren, Hygienisieren, ggf. elektrische Heizung) sowie alle Energiegutschriften (BHKW Einspeisungen, Wärmenutzung) ein. Die Energiebilanz wird aus der im BHKW erzeugten Strommenge, abzüglich der für die verschiedenen Verbraucher aufgewendete Strommenge, sowie der genutzten Wärmemenge (Substitution von Heizöl bzw. Holz) ermittelt.

Ökobilanzielle Parameter

- Netto Strombilanz in Kilowattstunden
- Substitution fossiler Energieträger in Abhängigkeit der Substitution des ursprünglichen Energieträgers (Kohle, Öl, Atomkraft etc.)
- Einsparung Treibhaus-relevanter Gase

Eine Energiebilanz wird für Biogasanlagen in der Planungsphase erstellt. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Planungsdaten von den im laufenden Betrieb ermittelten Werten teilweise erheblich abweichen. Für einen Vergleich verschiedener Kofermente in Bezug auf ihre reale Energieerzeugung wäre eine längerfristige Erhebung an einer Praxisanlage wünschenswert. In zahlreichen Veröffentlichungen sind Energiedaten enthalten, die für den ökobilanziellen Vergleich herangezogen werden können.

5.5.3.7 Die Gärrestelagerung/Nachgärung

Ökobilanzielle Parameter

- Emissionen
- zusätzliche Investitionen für Bau/Bereitstellung etc.

Durch die Ausstattung des Gärrestelagers mit gasdichten Folien und eine Einbindung in das Gassystem der Anlage kann sich die Biogausausbeute je nach Temperatur und Verweilzeit des Gärrestes erheblich (bis zu 15 %) erhöhen. Bei offenen Lagern werden dagegen treibhausrelevante Emissionen freigesetzt, v.a. wenn die Gärreste freifallend von oben in den Behälter eingefüllt werden. Weder Daten, Messungen, noch adäquate Messverfahren stehen derzeit für die Beurteilung von Emissionen aus der Gärrestelagerung bzw. der Nachgärung zur Verfügung. Das Agrilkulturchemische Institut der Universität Bonn arbeitet mit der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in dem Verbundprojekt: „Untersuchung der Emission direkt und indirekt klimawirksamer Spurengase während der Lagerung und nach der Ausbringung von Kofermentationsrückständen sowie Entwicklung von Verminderungsstrategien“

zusammen. In diesem Projekt werden die Emissionen aus offen Gärrestslagern mit neu entwickelten Messmethoden erfasst und bewertet. Die Daten werden ca. Mitte 2001 zur Verfügung stehen. Schätzungen zufolge ist bereits ab einer Freisetzung von 5 % des Gesamt-Methanertrags der Anlage die CO₂-Neutralität der Biogaserzeugung aufgehoben (WEILAND 2000A), so dass die Gärrestlagerung in der offenen Variante einen entscheidenden Einfluss auf die klimarelevanten Wirkungsfaktoren hat.

5.5.3.8 Ausbringung und Verwertung der Gärreste

Ökobilanzielle Parameter

- Nutzen: Düngewirkung, Pflanzenverträglichkeit, Substitution von mineralischem Dünger
- Energie
- Nährstoffbilanz des Bodens,
- zusätzlicher Schadstoffeintrag
- Emissionen

Der „Wert“ von Gärresten bezüglich ihres Nährstoffgehaltes, ihrer biologischen Pflanzenverfügbarkeit sowie den Gehalt an Schadstoffen entscheidet nicht nur über die ökologischen Auswirkungen einer stofflichen Verwertung, sondern auch über die rechtliche Zulässigkeit des Aufbringens auf landwirtschaftliche Flächen.

Über den „Wert“ des Gärrestes aus verschiedenen Kombinationen von Substraten und Kofermenten existieren dagegen nur wenig Daten. Lediglich in Modellversuchen wurden einzelne Substrat-Koferment-Kombinationen untersucht. Die Rahmenbedingungen dieser Untersuchungen sind jedoch nicht bekannt und umfassen nicht alle für einen ökobilanziellen Vergleich notwendigen Parameter. Untersuchungen mit Emissionstunneln auf den Aufbringungsflächen stehen vereinzelt zur Verfügung, die Daten sind jedoch nicht belastbar.

5.5.4 Übersicht über die ökologischen Parameter

- Energieverbrauch/-erzeugung: Verbrauch und Einsparung an fossilen Energien
- Emissionen: NO_x, CO, CO₂, H₂S, NH₃, N₂O, flüchtige organische Verbindungen
- Verursachte Emissionen als CO₂-Äquivalente auf allen Ebenen
- Eingesparte Emissionen als CO₂-Äquivalente in der Energiegewinnung/-nutzung
- Geruchsbelästigung (beschreibend)

Methangehalt/-Ausbeute

- TS, oTS, Wassergehalt, C/N-Verhältnis; (Abbaugrad oTS; pH-Wert)

Nährstoffe (Nährstoffgutschriften)

- C-Gesamt
- N-Gesamt [ggf. NH₄-N-Gehalt, Ammoniumanteil]
- P-Gesamt
- K-Gesamt
- Mg-Gesamt
- Ca-Gesamt

Schadstoffe

- Cadmium
- Quecksilber
- Zink
- Kupfer
- Chrom
- Nickel
- Blei
- Weitere Schadstoffe nach Absprache und soweit Daten verfügbar

Wirkungskategorien/Sensivitäten:

Die einzelnen Wirkungskategorien sollen zu einer Wirkungsbilanz zusammengefasst werden, um so die Umweltverträglichkeit insgesamt abzuschätzen.

- Bedarf erneuerbarer Ressourcen
- Bedarf nicht erneuerbarer Ressourcen
- Treibhauseffekt
- Ozonabbau und Wintersmog
- Photosmog (inkl. NO_x)
- Versauerung und Überdüngung
- Ökotoxizität, aquatische und terrestrische
- Humantoxizität Luft, Wasser und Boden
- Radioaktivität
- Schwermetalle
- Krebserrregende Substanzen

5.5.5 Bewertung der Datenlage Variante A

Die Ergebnisse der Datenrecherchen und Auswertungen, die Rahmen dieser Studie durchgeführt wurden sind nachfolgend zusammengefasst. Völlig ungeeignete Datenquellen wurden in der nachfolgenden Aufstellung nicht berücksichtigt.

Abbildung 36: Darstellung der verfügbaren Daten

Stufe/Bereich	Daten sind mindestens ausreichend vorhanden	Notwendige Messungen um Datenlücken zu schließen	möglichst repräsentative Annahme
Theoretische Modell-Biogasanlage			X
Transportentfernung für Kofermente			X
Grundsubstrate und Kofermente	X		
Der Biogasprozess	„Black-Box“ - Betrachtung über den In- und Output		
Gasertrag, -reinigung und -qualität	X		
Betrieb des BHKW	X		
Die Energiebilanz	X		
Das Gärrestlager (Nachgärung)		X	
Ausbringung der Gärreste		X	
Auswirkungen nach der Ausbringung		X	

Die Qualität der jeweils zur Verfügung stehenden Daten ist zum Teil sehr unterschiedlich (Erhebungsmethode, Praxis- oder Laboranlage, Abschätzung usw.), wie auch ihre Vergleichbarkeit nicht immer gegeben ist. Eine Feststellung der Eignung der Datenquellen kann nur im Zusammenhang mit der Zielsetzung des ökobilanziellen Vergleichs erfolgen und bleibt daher einer späteren Klärung vorbehalten.

Abbildung 37: Verfügbare Daten und Eignung für einen ökobilanziellen Vergleich

Bereich	Quelle/Jahr	Bewertung der Datenqualität	Eignung
Input: Grundsubstrate und Kofermente			
Wirtschaftsdünger und versch. organische Abfälle	KTBL 1999 Datenbank wird erweitert	Repräsentative Praxisdaten aus Messungen der LUFA	++
12 Kofermente: organische Abfälle	IFEU 2000 Ökobilanz Kofermente	Datenquellen müssen näher untersucht werden	++
Kofermente: Mais und Corn-Cob-Mix aus Eigenanbau	MITTERLEITNER 2000B	Gasertragsdaten noch mit relativ hohen Unsicherheiten behaftet, da kontinuierliche und reproduzierbare Versuche fehlen	+
Futtermüben als Koferment	LANDWIRTSCHAFTLICHE VERSUCHSANSTALT TRIESDORF	Gasertragsdaten noch mit relativ hohen Unsicherheiten behaftet, da kontinuierliche und reproduzierbare Versuche fehlen	+
Koferment: Mähgut/Gras-Silage	OECHSNER 2000	Daten aus Biogas-Laboranlage, nur bedingt auf die Praxis übertragbar	+
8 Kofermente	FIW 2000	Ergebnisse aus Analysen, Gasbildung aus Laboranlagen mit Klärschlamm	+
Kenndaten von Obstschlempen	WENDLER 1997	CSB, BSB, pH, TS, oTS, Cu, SO ₄	+
Kenndaten von Speiseabfall, Bioabfall, Panseninhalt und Kompost, Gärprodukte	BIFA 1999	Vergleich von Nährstoffen und Salzgehalt (N, P, Salz, TS)	+
Abwässer aus der Lebensmittel- und Getränkeindustrie	BEHMEL 1998	CSB, BSB, Ges-N, Ges-P, pH, absetzbare Stoffe, oTS fehlt	offen
+++ = Daten gut geeignet, ++ = Daten geeignet, + = Daten bedingt geeignet, offen = Dateneignung unklar, muss überprüft werden			

Bereich	Quelle/Jahr	Bewertung der Datenqualität	Eignung
Fettabscheider-Analysen	IFU (DIERING) 2000	Nur oTS-Untersuchungen	Offen
Fettabscheiderfette + Gülle	WEIHENSTEPHAN MITTLEITNER 1997	Daten müssen noch geprüft werden	Offen
Der Biogasprozess			
Vergärung von Gülle + Speiseabfälle	OECHSNER 1998A	Daten aus Laborversuchen, nicht geeignet, da Übertragbarkeit in die Praxis in Frage gestellt	---
Zusammenhang: Raumbelastungen, Verweilzeiten und Gärtemperatur	BASERGA 2000	Eignung der Daten muss noch geprüft werden	Offen
Daten der Modellanlage des Landtechnischen Vereins Bayern	TRIESDORFER BIOGASANLAGE 1998	Praxisdaten sind geeignet	+
Die Biogasqualität und Energieerzeugung			
Biogasbildung in Arbeitspapier „Kofermentation“	KTBL 1998	Überprüfung, ob Abschlüge bei den Gaserträgen berücksichtigt werden müssen	++
Emissionen BHKW Oberlungwitz	FACHVERBAND BIOGAS 1998	Geeignete Messungen, allerdings nur von einer Anlage	++
Biogaszusammensetzung	LFU 1997 (BAYER. LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ)	Umfassende Datensammlung von Praxismessungen aus zehn Biogasanlagen	+++
Gärrestlagerung und landwirtschaftliche Verwertung			
8-jährige Düngerversuche in der LVA Aulendorf	LANDW VERSUCHS-ANSTALT AULENDORF 1995	Düngerexperimente mit Gärresten auf Dauergrünland/Silomaisflächen und Vergleiche mit Gülle	+
Datensätze aus DBU-Projekt hinsichtlich der Klimarelevanz	CLEMENS 2000	Daten liegen erst Anfang 2001 vor, müssen noch geprüft werden	offen
+++ = Daten gut geeignet, ++ = Daten geeignet, + = Daten bedingt geeignet, offen = Dateneignung unklar, muss überprüft werden			

Bereich	Quelle/Jahr	Bewertung der Datenqualität	Eignung
Sonstige Datenquellen			
Bewertung von 6 Biogasanlagen	HESSENENERGIE 1997	Betrachtung aller wichtigen ökologischen und ökonomischen Parameter	+++
Evaluierung von 79 Biogasanlagen in BW	OECHSNER 1999A	Daten stellen teilweise nicht mehr den Stand der Technik dar	+
Daten zum Bestand von Biogasanlagen in Deutschland	FACHVERBAND BIOGAS	Zur Entwicklung und Überprüfung der Modellanlage für den Vergleich gut geeignet	+++
Ökonomische Daten und Definition einer Modellanlage	OECHSNER/KNEBEL-SPIEB 1999	Sehr gute Datenqualität, da auf einer Basis von 177 + 76 Datensätzen aus bestehenden Biogasanlagen in BW – BAY erstellt	+++
Bewertung von Vorhaben zur Kofermentation von Bioabfällen	FAL/WEILAND 2000	Gute Datenqualität, da sehr neue Praxisdaten, Prüfung ob diese auf den landwirtschaftl. Bereich übertragen werden können	++
Datensammlung zu Biogasanlagen	LJIOR INTERNATIONAL NV. 1999	Daten aus Belgien, Deutschland und u.a. EU-Staaten – Übertragbarkeit fraglich	Offen
Energiebilanzierung für Biogasanlagen	KTBL 2000A	Internes Projekt - Daten sind z.Z. nicht verfügbar, Veröffentlichung geplant	Offen
Technische Daten und Kosten aus den Biogasanlagen Göritz, Surwold, Lingen, Pfaffendorf und Finsterwalde	WEILAND 2000A	Es handelt sich um Groß- und Gemeinschaftsanlagen, die nur bedingt übertragbar sind, Daten stellen teilweise nicht mehr den Stand der Technik dar	+
Daten zu Biogasanlagen in Hessen	ENERGIETAGE 2000	Angaben von Betreibern, meist Schätzungen, ungenaue Berechnungen	+
+++ = Daten gut geeignet, ++ = Daten geeignet, + = Daten bedingt geeignet, Offen = Dateneignung unklar, muss überprüft werden			

5.5.5.1 Datenqualität

Bei vielen der ausgewerteten Quellen ist die Qualität der Daten nicht eindeutig erkennbar. Angaben wie, wo und unter welchen Bedingungen die Daten gemessen oder erhoben wurden, werden meist nicht gemacht. Bei Daten, die aus Abschätzungen oder Versuchsaufbauten in Labors stammen, ist die Übertragbarkeit auf die Praxis der Monovergärung und der Kofermentation fraglich. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass die Datenqualität in einigen Bereichen nicht bestimmbar ist und die mögliche Fehlerbandbreite eines ökobilanziellen Vergleichs erheblich vergrößert.

5.5.5.2 Datenlücken

Relevante Datenlücken bestehen v.a. bei den *Emissionen aus der Kofermentation* und zwar über den gesamten Prozess bis hin zur Aufbringung auf pflanzenbaulich genutzte Flächen. Dabei ist besonders der Bereich der *Gärrestlagerung bzw. der Nachgärung* zu erwähnen. Hier können, wenn das Gärrestlager nicht in das geschlossene Gassystem der Anlage eingebunden ist, hohe und damit für den ökologischen Vergleich relevante Methangas-Mengen und andere klimarelevante Gase in die Atmosphäre freigesetzt werden. Zu diesem Aspekt liegen derzeit keine Messdaten sondern nur grobe Schätzungen mit großen Bandbreiten vor.

Dagegen sind die Gasbildungsdaten von Wirtschaftsdüngern und organischen Rest- und Abfallstoffen weitestgehend bekannt; es sei an dieser Stelle auf die Veröffentlichungen der KTBL 1996 und 1998 verwiesen. Die Daten beziehen sich jedoch ausschließlich auf die alleinige Vergärung der untersuchten Stoffe. Allgemein gültige Daten *einer kombinierten Vergärung von verschiedenen Substraten und Kofermenten* liegen nicht vor.

Die von der KTBL angegebenen Gasbildungsdaten (KTBL 1998) beziehen sich auf einen optimalen Betriebsablauf, stabilen Biogasprozess und hohe Biogasausbeuten. Über das Jahr gesehen schwanken jedoch die Biogaserträge teilweise erheblich, so dass in Frage gestellt werden muss, ob im Jahresmittel tatsächlich die angegebenen Gasbildungsdaten erreicht werden. Langzeituntersuchungen über einen kontinuierlichen Biogas-Betrieb bei gleichbleibenden Input sind zumindest den Autoren nicht bekannt geworden.

Bis heute ist die Annahme einer *Beschleunigung des biologischen Abbaus von Gülle* und möglicherweise einer Erhöhung der Abbauraten der organischen Substanz durch den Zusatz von bestimmten Kofermenten (z.B. Altfetten) wissenschaftlich nicht nachgewiesen, so dass auch zu dieser Fragestellung keine Daten verfügbar sind.

Die Datenlage über die *Kofermentation von Energiepflanzen* ist eher dürftig, da die Praxis hier schneller als die Wissenschaft war und bis heute nur vereinzelte Daten (MITTERLEITNER 1999) und ungeprüfte Angaben von Anlagenbetreibern vorliegen.

Für die Biogasnutzung werden zukünftig auch Brennstoffzellen eingesetzt werden können, die im Vergleich zur motorischen Verwertung höhere elektrische Wirkungsgrade ermöglichen und erheblich geringe Emissionen an NO_x, CO und Kohlenwasserstoffen verursachen. Voraus-

setzung hierfür ist die Entwicklung von effizienten Gasreinigungssystemen, um die Anforderungen von Brennstoffzellen an die Reinheit des Biogases kostengünstig erfüllen zu können. Hierzu ist noch ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsaufwand notwendig, so dass wir vorschlagen die Berücksichtigung dieser Möglichkeit der Energieerzeugung bei der Ökobilanzierung auszuschließen.

5.6 Variante B: Datenerhebung an einer Praxisanlage und Erstellung eines ökobilanziellen Vergleichs

Um die Ungenauigkeit der Bewertung von Variante A durch den Rückgriff auf Literaturdaten z.T. unbekannter Herkunft und Genese zu vermeiden empfiehlt es sich, eine Bilanzierung auf Basis einer eigenständigen Datenerhebung durchzuführen. Hierzu können im Vorfeld komplette Datensätze einer modernen Kofermentationsanlage in einem wissenschaftlichen Mess- und Untersuchungsprogramm erfasst werden. Folgende Vorteile ergeben sich aus dieser Herangehensweise gegenüber der Verwendung von Literaturdaten:

- Die erhobenen Daten stammen alle von *einer* Kofermentationsanlage und werden nach *einem* Messverfahren erhoben. Damit ist die Vollständigkeit, die Konsistenz und die Reproduzierbarkeit der Daten - im Gegensatz zu Variante A - gegeben
- Die Rahmenbedingungen, unter denen die Erhebung und die Messungen stattfinden, sind bekannt und können entsprechend der Erfordernisse der wissenschaftlichen Fragestellung definiert werden. Ebenso sind Fehlerbandbreiten (Mess-Ungenauigkeit) der gewonnenen Daten bekannt und können bei der Bewertung berücksichtigt werden.
- Die Rahmenbedingungen der Messungen von verschiedenen Kofermenten sind gleich; eine wichtige Voraussetzung für einen direkten Vergleich der Umweltwirkungen unterschiedlicher Kofermente
- Eine weitgehend gleichbleibende Zusammensetzung der Grundsubstrate und der Kofermente ist gewährleistet. Es kann gewährleistet werden, dass die Messungen nur unter stabilen Prozessabläufen vorgenommen werden.
- Es werden belastbare Daten gewonnen, die bestehende Lücken schließen und eine durchgängig konsistente Datennutzung ermöglichen.

Folgende Bereiche sollten durch das vorgeschlagene Mess- und Begleitprogramm erfasst werden:

- *Stoffliche Darstellung des Grundsubstrates Gülle und der Gärreste soweit für den ökobilanziellen Vergleich notwendig (BSB₅, mineralische und organische Stickstoffkomponenten, C, P, K, etc.)*
- *Erfassung der Basisdaten (Betriebsangaben) und Stoffströme der Kofermentationsanlage durch den Betreiber: Input, Output, Biogasmenge und Zusammensetzung, Laufzeit des BHKW, Arbeitszeitaufwand für Fermenterbeschickung, Betrieb und Wartung des BHKW und Kofermentation sowie allgemeine Organisation und Logistik*
- Erfassung ökonomischer Daten zur Investition, Betrieb und Amortisation der Kofermentationsanlage
- Erfassung der Energieströme der Kofermentationsanlage

- *Erfassung der Schwermetallgehalte in Kofermenten und Grundsubstraten, wenn notwendig auch organische Schadstoffe*
- *Erfassung der Emissionen aus dem Gülle-, Kofermente- und Gärrestelager*
- *Untersuchungen zur Emission von Methan, Ammoniak und Lachgas bei der Aufbringung auf landwirtschaftlichen Flächen*
- Untersuchungen zur Mineralisierung von organischem Stickstoff aus den Gärresten
- Ermittlung der Stickstoff- und Phosphat-Verluste durch Sickerwasser auf den landwirtschaftlichen Flächen
- Bodenoberflächen-Untersuchungen (bis 15 cm) auf mineralischen Stickstoff nach Aufbringung der Gärreste
- Ermittlung der Düngewirkung in Laborversuchen oder optional Ertragsbestimmungen auf Äckern und Grünland mit chemischer Charakterisierung der landwirtschaftlichen Produkte

Die kursiv gehaltenen Bereiche des Messprogramms werden durch das Agrikulturchemische Institut der Universität Bonn im „Biogas Rheinland-Projekt“ durchgeführt.

Mit dem hier vorgestellten wissenschaftlichen Mess- und Begleitprogramm sind auch Nachteile verbunden: Die Datenerhebung an einer Kofermentationsanlage wird einen Zeitraum von etwa 12 Monaten beanspruchen, da ein Kofermentwechsel an Biogasanlagen einen Zeitraum von etwa zwei bis vier Wochen benötigt bis erneut ein stabiler, durchschnittlicher Prozessbetrieb erreicht ist. Wenn auch Ertragsuntersuchungen durchgeführt werden sollen, kann eine chemische Charakterisierung der landwirtschaftlichen Produkte erst nach der Ernte (i.d.R. im Herbst) erfolgen. Hieraus ergibt sich, dass ein ökobilanzieller Vergleich erst ein Jahr später als bei der Variante A erstellt werden kann. Eine genaue Kalkulation für das Mess- und Begleitprogramm einer Biogasanlage kann erst im Detail erfolgen, wenn die beteiligten Kooperationspartner und das genaue Messprogramm sowie die Praxisanlage festgelegt sind. Nach einer groben Abschätzung werden die Gesamtkosten aufgrund des hohen Personalkosten- und Analytikaufwandes in der Variante B (Mess-, Begleitprogramm und ökobilanzieller Vergleich) mit bis zu 100 % höher ausfallen.

Der nach dem Mess- und Begleitprogramm durchzuführende ökobilanzielle Vergleich soll sich sowohl in der Methodik, dem Bilanzraum und seinen Systemgrenzen an den formulierten Ansprüchen der Variante A orientieren.

Für die Auswahl einer geeigneten Praxisanlage sollten folgende Kriterien gelten.

- Es sollte sich um eine moderne, möglichst neue Biogasanlage auf dem Stand der Technik handeln.
- Die Biogasanlage muss als Kofermentationsanlage geplant und in der Praxis als solche betrieben werden.
- Es sollte die Möglichkeit der Behandlung der verschiedenen Kofermente, die im ökobilanziellen Vergleich untersucht werden sollen, gegeben sein. Hierbei sollten die auch

Kofermente einsetzbar sein, für die eine Hygienisierung/Pasteurisierung vorgeschrieben ist (z.B. Speiseabfall).

- Es sollte sich um eine Biogasanlage in Nordrhein-Westfalen handeln. Die Bereitschaft des Anlagenbetreibers für eine enge Kooperation und dessen Zuverlässigkeit muss gewährleistet sein. Hierzu könnte der Fachverband Biogas e.V. einbezogen werden, entsprechende Vorgespräche wurden geführt.
- Sowohl die Messungen als auch die Erhebung der Begleitdaten (zum Beispiel Arbeitszeitaufwand für die Biogasanlage) sollten durch einen geeigneten Kooperationspartner, der über das technische Know-how und die Ausrüstung für das Messprogramm verfügt, durchgeführt werden. Aus Nordrhein-Westfalen könnte dies durch das Agrokulturchemische Institut der Universität Bonn oder der Fachbereich Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft der Universität Essen erfolgen. Weiterhin stehen auch außerhalb von Nordrhein-Westfalens geeignete Organisationen zur Verfügung, wie etwa die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Technologie und Biosystemtechnik in Braunschweig unter Leitung von Prof. Weiland.
- Für die erfolgreiche Durchführung und die optimale Kooperation mit dem Biogas-Anlagenbetreiber ist es notwendig, dass *ein* permanenter Ansprechpartner und nicht verschiedene Personen und Organisationen vor Ort tätig sind. Als Ansprechpartner würde sich eine dem landwirtschaftlichen Betrieb bekannte Person aus der Landwirtschaftlichen Beratung (Landwirtschaftskammer) oder aus dem Fachverband Biogas anbieten.

Insgesamt erscheint das vom Umweltministerium NRW im kommenden Jahr geförderte Projekt „Biogas Rheinland“ für ein solches Mess- und Begleitprogramm an einer Praxisanlage geeignet, da ohnehin Messungen vorgenommen und Basisdaten an vier Biogasanlagen in NRW erhoben werden sollen. Eine Beschränkung der Möglichkeiten ist darin zu sehen, dass anscheinend keine der vier geplanten Anlagen über eine eigene Hygienisierung verfügt und daher die Verwendung von hygienisch bedenklichen Kofermenten Probleme aufwerfen könnte. Eine notwendige fachgerechte Hygienisierung kann jedoch ggf. durch die Kooperation mit einem geeigneten Entsorger gewährleistet werden.

Ein gemeinsames Vorgehen mit den projektdurchführenden Organisationen des Biogas-Rheinland-Projektes könnte Synergien und Kosteneinsparungen auf der Grundlage gemeinsamer Datenerhebungen ergeben. Erste Gespräche vor dem Hintergrund dieser möglichen Zusammenarbeit wurden mit Herrn Dr. Clemens von der Universität Bonn und Herrn Dr. Kempkens von der Landwirtschaftskammer geführt, müssen aber hinsichtlich der Organisation, der konkreten Aufgabenstellung und der entstehenden Kosten weiter konkretisiert werden.

Natürlich kann auch eine eigene Auswahl einer geeigneten Kofermentationsanlage erfolgen, da im kommenden Jahr rund 20 neue landwirtschaftliche Biogasanlagen in Nordrhein-Westfalen den Betrieb aufnehmen werden und somit entsprechendes Potenzial zur Verfügung steht, um eine geeignete Auswahl treffen zu können.

5.7 Software-Tools für den ökologischen und ökonomischen Vergleich

Auf dem Markt werden derzeit eine ganze Reihe von Software-Lösungen für die Erstellung und den Vergleich von Ökobilanzen angeboten. Bei den rund 130 angebotenen EDV-Lösungen gibt es erhebliche Bandbreiten in den Leistungen und Preisen. Grundsätzlich wird eine Software benötigt, die optimal die Ansprüche eines ökobilanziellen und ökonomischen Vergleichs von Kofermentationen in der Landwirtschaft gleichermaßen erfüllt.

Im Rahmen der Studie wurden die drei wichtigsten deutschsprachigen Ökobilanzprogramme bewertet, für die auch Demoversionen zur Verfügung standen (GEMIS 3.1, Umberto 3.0, Euclid). Dabei stellte sich heraus, dass bis auf Umberto die Programme nicht in der Lage sind einen ökonomischen und ökologischen Vergleich optimal miteinander zu verbinden. Alle mitgelieferten Datenbanken verfügen über eine Fülle umweltrelevanter Daten und Informationen u.a. zur Energiegewinnung, Transport, Herstellungsprozessen und Materialien und können dadurch dazu beitragen den Rechercheaufwand in der Datenerhebungsphase zu reduzieren. Die spezielle Fragestellung des ökobilanziellen Vergleichs von Kofermentationen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen lässt eine Nutzung der mitgelieferten Daten jedoch nur in wenigen Bereichen zu. Meist enthalten die Datenbanken nur Richtwerte, die wenig zur Klärung der Frage nach geeigneten und am besten umweltverträglichen Kofermenten beitragen, da sie in der Regel erheblich von fallspezifischen Daten abweichen. Die zur Verfügung gestellten Daten können somit eine eigne Datenerhebung nicht ersetzen.

Ein wichtiges Kriterium für die Eignung der Software ist die direkte Verbindung der ökonomischen Daten mit den Basisdaten der Anlagen und den ökologischen Daten, um ein paralleles Arbeiten an zwei Systemen (Ökologie und Ökonomie) zu ermöglichen, so dass ein direkter Vergleich gezogen werden kann und keine unnötige Doppelarbeit notwendig wird. Der Umgang mit Datenunsicherheiten, Fehlern und methodischen Lücken wird bisher nur von dem Programm Umberto berücksichtigt und zwar durch die Möglichkeit der Darstellung einfacher Schwankungsbreiten. Dem kommt besondere Bedeutung zu, denn erst dadurch können die bestehenden Unsicherheiten und somit auch die Grenzen für die Gültigkeitsbereiche der Ergebnisse aufgezeigt werden.

Das kostenlose Ökobilanzierungsprogramm GEMIS 3.1 vom Ökoinstitut Freiburg ist eine günstige Alternative. Im Mittelpunkt dieses Programms stehen v.a. Energieflüsse und die Energie-Bilanzierung von Prozessen und Produkten; natürlich ist auch eine Ökobilanzierung möglich. Das Programm ist zwar sehr umfangreich, dabei aber auch recht unübersichtlich. Trotz eines hohen Datenbestandes können nur sehr wenige Daten für die vorgesehene Bilanzierung herangezogen werden. Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind nur im beschränkten Maße möglich und scheinen für Kofermente und Biogasanlagen nicht geeignet. Insgesamt ist die Handhabung kompliziert, unübersichtlich und nicht besonders anwenderfreundlich. Eine Modifikation des umfangreichen Programms auf die notwendigen Elemente einer Ökobilanzierung von Kofermenten dürfte zu aufwendig und kostspielig sein.

EUKLID schließlich ist eine Software der Fraunhofer Gesellschaft zur Ökobilanzierung von Produktsystemen und Prozessketten (LCA). Das Programm enthält Berechnungsmöglichkeiten

ökologischer Kenngrößen für standortbezogene Betrachtungen. Das System ist in erster Linie für den nachsorgenden Umweltschutz, zur Bewertung von Betriebsabläufen und von Produkten konzipiert. Eine ökologische Betrachtung von Zuschlagstoffen, wie in dem zu untersuchenden Fall für Kofermente, scheint nicht ohne größere Programmänderungen möglich. Eine ökonomische Bewertung ist zwar in das Programm integriert, aber nur bedingt für die Wirtschaftlichkeitsberechnung von Biogasanlagen geeignet.

Insgesamt stellt sich die Softwarelösung UMBERTO 3.0 des Instituts für Umweltinformatik (IfU) Hamburg als am ehesten geeignet dar, da sowohl ökologische Vergleiche und Schwachstellenanalysen, als auch umfangreiche Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit der Softwarelösung durchgeführt werden können. Besonders hervorzuheben sind die vielfältigen statistischen und grafischen Auswertungsmöglichkeiten des Programms. Das Ökobilanzprogramm Umberto gehört zu den in Deutschland und Europa am weitesten verbreiteten Software-Lösungen. Umberto basiert auf den sogenannten Stoffstromnetzen, die Arbeitsweise und Methodik des Programms ist in zahlreichen Fachveröffentlichungen gut dokumentiert. Der Anschaffungspreis von Umberto liegt jedoch je nach Ausstattung zwischen 8.000 und 15.000 DM relativ hoch. Es wird auch eine zeitlich befristete Testversion mit allen Funktionen für 550 DM angeboten.

5.7.1 EXCEL-und ACCESS-Lösung

Mit den erhältlichen Softwarelösungen lassen sich zwar einfache Ökobilanzbetrachtungen zum Teil gut umsetzen, eine automatisierte Verarbeitung der drei für einen ökobilanzielle Vergleich von Kofermenten berührten Bilanzierungsebenen.

1. Ebene: Verwertung von organischem Abfall,
2. Ebene: Gewinnung von Energie und Substitution von nicht erneuerbaren Energieträgern und
3. Ebene: Entstehung der Produkte Dünger und Biogas.

kann jedoch keines der angesprochenen Programme leisten. Aufgrund seiner zahlreichen Module und der umfangreichen Datenbasis erscheint das Programm Umberto noch am ehesten für diese Anforderungen geeignet. Der hohe Anschaffungspreis, notwendige programmtechnische Anpassungen und eine lange Einarbeitungszeit lassen den erforderlichen Arbeitswie auch den Finanzierungsaufwand unverhältnismäßig hoch erscheinen.

Alternativ erscheint es effektiver, ein entsprechendes Tool angepasst an die Zielsetzung des Projektes auf der Basis der Microsoft Datenbank Access[®] und der Tabellenkalkulation Excel[®] zu entwickeln. Im Verbund bieten die beiden Programme die Möglichkeit mit geringen Programmierkenntnissen, sämtliche relevanten Daten zu erfassen und verwalten (Access) sowie die notwendigen Rechenoperationen mittels der Tabellenkalkulation auszuführen (Excel). Dieses Vorgehen hat gegenüber dem Rückgriff auf „marktübliche“ Programme den Vorteil, ein an die Erfordernisse der speziellen Fragestellung und Zielsetzung angepasstes Werkzeug zu erhalten, welches ohne spezielle Datenbank- und Tabellenkalkulationskenntnisse einfach zu bedienen, auf einem beliebigen Rechner zu installieren einfach zu nutzen ist. Erforderli-

chenfalls können in diesem System Datenanpassungen und Rechenoperationen ohne weiteres eingefügt werden. Programmiererweiterungen wie die Einbindung neuer Funktionen sind leicht realisierbar ebenso wie die Erweiterung der Datenbasis durch Eingabe eigener Daten.

5.8 Zusammenfassung und Empfehlungen

Zur Erstellung eines ökobilanziellen Vergleichs verschiedener Kofermentationen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen wurden zwei mögliche Herangehensweisen dargestellt.

Zur Zeit existiert kein kompletter und konsistenter Datensatz (von der Anlieferung der Kofermente/Wirtschaftsdünger bis zur Verwertung auf den pflanzenbaulich genutzten Flächen) einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit Kofermentation. Für einen ökobilanziellen Ansatz kann daher derzeit nur eine Sammlung verschiedenster Daten aus unterschiedlichen Quellen zu einem Vergleich herangezogen werden. Diese Vorgehensweise birgt eine gewisse Fehleranfälligkeit des ökologischen Vergleiches und der daraus resultierenden Ergebnisse und Bewertungen.

Seitens der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) wird im kommenden Jahr (2001) mit einem zweijährigen bundesweiten Projekt begonnen, bei dem 50-60 „neue“ Biogasanlagen evaluiert und umfangreiche Einzeldaten erhoben werden, so dass Anfang 2003 mit aktuellen und vergleichbaren Zahlen für landwirtschaftliche Biogasanlagen mit Kofermentation gerechnet werden kann (WEILAND 2000A).

Um die Fehlerquellen des ökologischen und ökonomischen Vergleichs zu verringern und die Belastbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wird die Neuerhebung vollständiger Datensätze empfohlen. Während der Recherchen hat sich ergeben, dass die derzeit verfügbaren Literaturdaten wenig Auskunft über Herkunft und Rahmenbedingungen geben und daher nur beschränkt vergleichbar bzw. verwendbar sind. Ein entsprechendes Mess- und Erhebungsprogramm in einer Praxis-Biogasanlage hat allerdings den Nachteil, dass die Datenerhebung relativ viel Zeit in Anspruch (schätzungsweise 1 Jahr) nehmen wird und sich die Gesamtkosten des ökologischen und ökonomischen Vergleichs mindestens verdoppeln werden.

Eine Datenerhebung in einer Praxisanlage hinsichtlich koferment abhängiger Prozessabläufe sollte daher in Abstimmung mit den Begleitforschungen zum „Biogas Rheinland“-Projekt, namentlich dem Institut für Agrikulturchemie der Universität in Bonn erfolgen. Hierzu bedarf es allerdings noch einer detaillierten Abstimmung und Kostenermittlung.

Ein ökobilanzieller und ökonomischer Vergleich von Kofermentationen auf der Grundlage *verfügbarer Mess- und Literaturdaten* ist möglich. Für eine grobe ökologische Charakterisierung von Kofermenten (z.B. Bildung einer ökologischen-ökonomischen Rangfolge) reicht die vorliegende Datenqualität und -quantität aus. Hinsichtlich des ökonomischen Vergleichs existieren ausreichend Daten um belastbare Ergebnisse zu erzielen. Grundsätzlich muss in diesem Zusammenhang die Zielsetzung des Vergleichs präzisiert und die Anforderungen an

die Verwendung der Ergebnisse genau definiert werden, damit die an den Vergleich geknüpften Erwartungen des Auftraggebers erfüllt werden können.

Von einer Anschaffung eines professionellen Softwaretools in der Hauptstudie wird abgeraten. Eine Erstellung einer EXCEL- und ACCESS-Lösung reicht für die Anforderungen der speziellen Fragestellung und Zielsetzung vollkommen aus. System- und Datenanpassungen sowie Rechenoperationen können ebenso ohne weiteres eingefügt werden, wie Programmerweiterungen und neue Funktionen.

6 Ergebnisse und Empfehlungen

In Vergangenheit konnten mit der Erzeugung von Energie und der damit verbundenen Senkung der betrieblichen Energiekosten die meist fehlende Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen nicht kompensiert werden und war bisher das größte Hemmnis bei der Verbreitung der Biogas-Technologie in der Landwirtschaft.

Seit einigen Jahren befindet sich die Kofermentation von organischen Rest- und Abfallstoffen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Diskussion. Neben der gesetzeskonformen und stofflichen Eignung stellt sich die Frage, ob die Kofermentation von organischen Abfällen unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten sinnvoll ist. Mit der Kofermentation können Störstoffe, Schadstoffe und Krankheitserreger in den Biogasprozess und anschließend auf die pflanzenbaulich genutzten Flächen gelangen. Der Schutz von Mensch, Tier und Umwelt muss aber auch unter den veränderten Verwertungsmöglichkeiten organischer Abfälle gewahrt werden. Dies gilt im besonderem Maße für Kofermentationsanlagen auf tierhaltenden Betrieben, da hier hinsichtlich der Hygiene- und Seuchenproblematik besondere Sorgfalt geübt werden muss.

Im Rahmen dieser Studie wurden die Möglichkeiten für einen ökologischen und ökonomischen Vergleich des Einsatzes von biogenen Abfällen und landwirtschaftlicher Biomasse in Kofermentationsanlagen untersucht.

6.1 Verfahren und Technik

Die Ergebnisse von Gesprächen mit Fachleuten aus Wissenschaft und Praxis sowie einer umfassenden Literaturstudie mündeten in eine Darstellung der Beschreibung des Biogasverfahrens und der angewendeten Technologie unter Berücksichtigung des Standes der Technik von landwirtschaftlichen Kofermentationsanlagen. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- a. Die Kofermentation von organischen Reststoffen und Abfällen wird heute bereits in über 70 % aller landwirtschaftlichen Biogasanlagen durchgeführt. Aufgrund der wirtschaftlich meist positiven Wirkung der Kofermentation von Kofermenten werden in Zukunft kaum noch Biogasanlagen zur Monovergärung von Gülle geplant und gebaut werden. Mit der Kofermentation von landwirtschaftlicher Biomasse (Nachwachsende Rohstoffe, Energiepflanzen) steht eine weitere interessante Option für Biogasanlagen vor einer breiten Anwendung.
- b. Normalerweise überschreiten organische Rest- und Abfallstoffe die üblichen Schadstoffkonzentrationen von Wirtschaftsdüngern und Klärschlämmen nicht. Ungeachtet dessen sind entsprechende, z.T. rechtlich vorgeschriebenen Analysen auf Stör- und Schadstoffgehalte vor dem Einsatz der Kofermente (insbesondere von Bioabfällen, Speiseabfällen und Fettabscheiderinhalten) in Biogasanlagen durchzuführen.
- c. Heute verfügen die meisten Biogasanlagen über eine einfache Technik und damit auch nur über wenige oder keine Messeinrichtungen. Dies hat zur Folge, dass zur Qualität des

Prozesses, des Biogases, der Gärreste und der Anlage insgesamt oft keine qualifizierten Aussagen möglich sind. Die Nachvollziehbarkeit und Überprüfung eines sach- und fachgerechten Betriebes einer Biogas- bzw. Kofermentationsanlage ist nur möglich, wenn eine Massenbestimmung (Wägung) der eingebrachten Kofermente erfolgt, ein Stromzähler für die Stromerzeugung, eine Leistungsanzeige des BHKW, ein Gaszähler, ein BHKW-Betriebsstundenzähler sowie ein Brennstoffdurchflußmesser vorhanden ist. Entsprechende Anforderungen beim Bau von Biogasanlagen wären auch im Sinne der wirtschaftlichen und juristischen Absicherung der Betreiber.

- d. Der Haupt-Emissionsstrom der Freisetzung von klimarelevanten Gasen aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen erfolgt vor allem aus den Gärresten, und hier insbesondere bei der Gärrestelagerung bzw. Nachgärung durch unzureichend abgedichtete Gärrestbehälter, sowie der Ausbringung und dem Verbleib der Gärreste auf den landwirtschaftlichen Flächen.
- e. Bei der Planung der Dimensionierung von Kofermentationsanlagen sollte grundsätzlich von den auf dem Betrieb verfügbaren Grundsubstraten und landwirtschaftlichen Kofermenten ausgegangen werden. Sollen außerlandwirtschaftliche Kofermente eingesetzt werden, ist die Erstellung eines Beschaffungskonzeptes bereits in der Planung zu erstellen, so dass eine mittelfristige vertragliche Bindung (3–5 Jahre) die Lieferung der Kofermente gewährleistet und damit die zusätzlichen Investitionen in die Anlage absichert. Eine nicht abgesicherte Auslastung der Anlagenkapazitäten führt schnell zu betriebswirtschaftlichen Verlusten.
- f. Es erscheint sinnvoll die Kofermentation von Rest- und Abfallstoffen auf den engeren Bereich der Landwirtschaft und der Lebensmittelindustrie zu beschränken. Dabei kann die vom Umweltministerium NRW erstellte Positivliste zur Mitbehandlung in Faulbehältern eine erste Orientierung bieten. Landwirtschaftliche Biogasanlagen sollten nicht als „universelle Mülltonne“ missbraucht werden, um das positive Image der Biogastechnologie und das Vertrauen der Verbraucher in die Landwirtschaft nicht zu beschädigen. Aus den gleichen Gründen sollte derzeit von einer Entsorgung von Tiermehlen in Kofermentationsanlagen abgesehen werden, da der Lebenszyklus und die Übertragbarkeit des BSE-Erregers bis heute nur in Ansätzen bekannt ist.
- g. Kofermentationsanlagen, in denen Betrieb „problematische“ Kofermente verwertet werden, sollten über eine eigene Hygiensierung verfügen.
- h. Die Einrichtung von Abfallbörsen durch landwirtschaftliche oder landwirtschaftsnahe Organisationen können die einzelbetrieblich notwendigen Aufwendungen zur Beschaffung, Organisation und Logistik von landwirtschaftlichen und außerlandwirtschaftlichen Kofermenten deutlich verringern.
- i. Aus Sicht des Klimaschutzes ist die Verwertung von Gülle und bestimmten Kofermenten zur Gewinnung von Biogas sehr sinnvoll. Pro Tonne abgebauter organischer Trockenmasse werden durch die Behandlung in Biogasanlagen ca. 1,6 bis 1,8 t Kohlendioxid fossilen Ursprungs eingespart und diffuse Methan-Emissionen vermieden.

6.2 Rechtliche Situation und Genehmigung

In den Expertengesprächen mit Fachleuten und Praktikern stellte sich heraus, dass für die Erarbeitung einer Herangehensweise für einen ökobilanziellen Vergleich von Kofermenten die gesetzlichen Rahmenbedingungen und die Genehmigungspraxis eine wichtige Rolle spielen. Vor dem Hintergrund möglicher Ausnahmegenehmigungen beim Einsatz von Kofermenten und einer nicht konsistenten Rechtslage (hier v.a. hinsichtlich der Bioabfallverordnung und Düngemittelverordnung) erschien es notwendig die juristische Lage und die Genehmigungspraxis näher zu beleuchten.

Die Vielzahl der berührten Rechtsbereiche und damit die notwendige Kooperation verschiedener Behörden machen die Zulassung von landwirtschaftlichen Kofermentationsanlagen zu einem aufwendigen, teilweise langwierigen Verfahren. Die zum Teil nicht aufeinander abgestimmten Zulassungskriterien des Düngemittel- und des Abfallrechts erschweren die Genehmigungspraxis zusätzlich. Eine Ausbringung auf nicht betriebseigenen Flächen ist nur möglich, wenn die Vorschriften der Düngemittelverordnung eingehalten werden und die Gärreste als Sekundärrohstoffdünger in den Verkehr gebracht werden dürfen. In der Anlage der Düngemittelverordnung sind aber beispielsweise Fette als Ausgangsstoff für Sekundärrohstoffdünger nicht aufgeführt, so dass Fette nur bei der innerbetrieblichen Verwertung der Gärreste, nicht aber bei Inverkehrbringen der Gärreste, zur Kofermentation eingesetzt werden können.

Mit den „Hinweisen zum Vollzug der BioAbfV“ konnten inzwischen einige Unsicherheiten in der Genehmigungspraxis beseitigt werden, es herrscht jedoch bei der Interpretation und Auslegung der rechtlichen Regelungen weiterhin Unsicherheit. Dies kann zu Verzögerungen bei den Genehmigungsverfahren auf der einen und zu einem nicht immer einheitlichen Vollzug auf der anderen Seite führen.

Eine Verbesserung dieser Situation kann durch folgende Initiativen erreicht werden:

1. Harmonisierung der Rechtsverordnungen, vor allem der Zulassungslisten für Kofermente der DüMV und der BioAbfV.
2. Anpassung der Zulassungslisten der BioAbfV an Ausgangsmaterialien, die explizit für die Vergärung geeignet sind (Nachzuweisen ist, dass von ihnen keine Gefahr für Umwelt und Gesundheit ausgeht).
3. Erstellung von klaren und möglichst bundesweit einheitlichen Vollzugsinterpretationen. Geeignet erscheint ein Leitfaden einschließlich eines dezidierten Ablaufschemas als Orientierungshilfe für Vollzugsbehörden.
4. Verstärkte Information der Genehmigungsbehörden z.B. durch Schulungen und Informationsmaterialien (u.a. Leitfäden zur Genehmigungspraxis) zum Thema Biogas und Kofermentation.

Für Nordrhein-Westfalen ergibt sich, da in vier von fünf Regierungsbezirken die landwirtschaftlichen Böden mit Nährstoffen überversorgt sind, eine besondere Problematik. Die Aus-

bringung zusätzlicher Nährstoffe durch die Kofermentation nährstoffreicher Bioabfälle führt zwangsläufig zu einer Beschränkung bei der Zulassung der Kofermente (Verstoß gegen die "gute fachliche Praxis") und für eine Aufbringung außerhalb der überversorgten Flächen ist die Genehmigung für das Inverkehrbringen nach Düngemittelrecht erforderlich. Dies bedeutet zusätzliche Genehmigungshürden, eine Einschränkung der nach DüMV möglichen Kofermente sowie eine erweiterte Logistik und zusätzliche Betriebskosten.

Diese Schwierigkeiten treten nicht auf, wenn zur Kofermentation Energiepflanzen von den eigenen Betriebsflächen verwendet werden. Auch Kofermente, die nur geringe Nährstoffgehalte aufweisen, könnten auf überversorgten Böden zum Einsatz kommen.

Die einzuhaltenden Untersuchungs- und Nachweispflichten belasten die Wirtschaftlichkeit von Kofermentationsanlagen erheblich. So schreibt die Bioabfallverordnung vor der ersten Aufbringung von Gärresten mit organischen Abfällen vor, die Flächen auf Schwermetallgehalte zu untersuchen. Bei Kosten von ca. 600 DM je Probe für eine Parzelle können in der Summe für den einzelnen Betrieb 15.000 bis 20.000 DM an Untersuchungskosten entstehen, die die Wirtschaftlichkeit der Anlage in Frage stellen.

6.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung von Kofermentationsanlagen

Im dritten Arbeitsschritt wurden die recherchierten wirtschaftlichen Daten für die Darstellung der aktuellen ökonomischen Rahmenbedingungen und für die Erstellung eines Vergleichs von Modellrechnungen zur Wirtschaftlichkeit von Monovergärungs- und Kofermentationsanlagen verwendet. Die Kofermentation von organischen Rest- und Abfallstoffen ist unter ökonomischen Gesichtspunkten ein wichtiges Kriterium bei der Planung neuer Anlagen und der Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Bestandes an Biogasanlagen.

Als Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnungen kann zusammenfassend festgehalten werden, dass

- a. unter den heutigen ökonomischen Rahmenbedingungen auch kleinere Biogasanlagen (ab 50 GV) durch Zusatz von Kofermenten mit hohen Gasbildungsraten gewinnbringend arbeiten können. Größere einzelbetriebliche Anlagen können unter bestimmten Umständen beachtliche Gewinne erwirtschaften,
- b. die Monovergärung von in der betriebswirtschaftlichen Bewertung bei der Planung einer Biogasanlage inzwischen weitgehend uninteressant ist, da im Vergleich zur Kofermentation nur eine Kostendeckung oder relativ geringe Gewinne erzielt werden können,
- c. sich die Kofermentation von im eigenen Betrieb erzeugten Energiepflanzen hinsichtlich der Genehmigungsverfahren, Schadstoffbelastung und Nährstoffsituation grundsätzlich als unproblematisch darstellt und eine vielversprechende ökonomische Alternative zum Einsatz von organischen Abfällen sein kann.
- d. Nordrhein-Westfalen aufgrund seiner landwirtschaftlichen Strukturen ein beachtliches Potenzial zur Realisierung von Biogas- bzw. Kofermentationsanlagen besitzt. Statistisch

gesehen und auf Grundlage der Annahmen der durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen dürfte selbst bei konservativer Schätzung der wirtschaftliche Betrieb von rund 400 Biogasanlagen in NRW ohne weiteres möglich sein. Der Anteil Nordrhein-Westfalens an den bisher vergebenen Fördermitteln für Biogasanlagen aus dem Bundesprogramm Erneuerbare Energien fällt dagegen mit rund 1,3 Mio. DM (von insgesamt fast 55 Mio. DM) und vier geförderten Biogasanlagen bescheiden aus.

- e. Gemeinschaftsanlagen sinnvoll sein können, wenn die Verfügbarkeit der Grundsubstrate für die Investition in eine einzelbetriebliche Anlagen nicht ausreichend ist oder nicht genügend Kapital für die Investition und den Bau einer Einzelanlage zur Verfügung steht.

Zur Durchführung eines dezidierten ökonomischen Vergleichs des Einsatzes verschiedener Kofermente in landwirtschaftlichen Biogasanlagen liegen, wie die im Rahmen der Studie durchgeführten Beispielrechnungen zeigen, ausreichend belastbare Daten vor. Aktuelle Wirtschaftlichkeitsdaten neuerer Anlagen werden im ersten Quartal 2001 vorliegen, so dass die Datenbasis auf eine breitere Grundlage gestellt werden kann. Je nach Finanzumfang könnten in der Hauptstudie eine oder mehrere Fallstudien durchgeführt werden, um die Planungskalkulationen mit den wirtschaftlichen Ergebnissen in der Praxis zu vergleichen und zu bewerten.

6.4 Vorgehensweise für einen ökobilanziellen Vergleich

Im vierten Teil wurden zwei Vorgehensweisen für einen ökobilanziellen Vergleich von landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit Kofermentation entwickelt. Ausgangspunkt für die Erstellung eines ökobilanziellen Vergleichs ist die modellhafte *Darstellung der Stoff- und Energieströme* einer Biogasanlage mit Kofermentation.

Als System der Bilanzierungs- und Bewertungsmethodik wurde vorgeschlagen den Empfehlungen des Umweltbundesamtes, wie sie in der Veröffentlichung „Ökologische Bilanzen in der Abfallwirtschaft“ ausführlich dargelegt sind, zu folgen. Im Weiteren wurde der zu betrachtende Bilanzraum, die Systemgrenzen und die zu untersuchenden Kofermente vorschlagsweise definiert (siehe Abbildung C).

Variante A: Ökologisch-ökonomischer Vergleich an einer Modellanlage mit Literaturdaten

Ein ökobilanzieller Vergleich verschiedener Kofermente auf der *Grundlage von Literaturdaten* ist möglich. Hierzu ist es erforderlich eine „theoretische“ möglichst repräsentative Modell-Biogasanlage als Basis zu definieren. Diese Modellanlage sollte daher so gut wie möglich den Stand der Technik repräsentieren und die Praxis der Betriebsführung von Kofermentationsanlagen erfassen. Ein detaillierter Vorschlag zur Definition einer solchen Modellanlage wurde im Rahmen dieser Studie erarbeitet und ist vor Beginn der Hauptstudie mit dem Auftraggeber abzustimmen.

Da derzeit kein vollständiger und konsistenter Datensatz (von der Anlieferung der Kofermente/Wirtschaftsdünger bis zur Verwertung auf den pflanzenbaulich genutzten Flächen, einschließlich der Folgewirkungen für Boden, Wasser, Luft) einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit Kofermentation existiert, kann für einen ökobilanziellen Vergleich derzeit nur eine Sammlung verschiedenster Daten aus unterschiedlichen Quellen herangezogen werden. Eine Bewertung der Eignung für den ökobilanziellen Vergleich wurde im Rahmen der Studie vorgenommen. Als Ergebnis wird festgehalten, dass mit den Daten unterschiedlicher Herkunft und Güte eine gewisse Fehleranfälligkeit im ökologischen Vergleich und den daraus folgenden Bewertungen verbunden ist. Für eine grobe ökologische Charakterisierung von Kofermenten (z.B. Bildung einer ökologischen-ökonomischen Rangfolge) reicht die vorliegende jedoch Datenqualität und -quantität aus.

Grundsätzlich muss in diesem Zusammenhang die Zielsetzung des Vergleichs präzisiert und die Verwendung der Ergebnisse genau definiert werden, damit die an den Vergleich geknüpften Erwartungen des Auftraggebers erfüllt werden können.

Variante B: Datenerhebung an einer Praxisanlage und ökologisch-ökonomischer Vergleich mit den erhobenen Daten

Um die Fehlerquellen des ökologischen Vergleichs zu verringern und die Belastbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, ist die Erhebung vollständiger Datensätze an einer Praxis-Kofermentationsanlage mit Hilfe eines Messprogramms das Mittel der Wahl. Bei den Recherchen hat sich ergeben, dass die derzeit verfügbaren Literaturdaten wenig Auskunft über die jeweilige Herkunft und die Rahmenbedingungen geben und daher nur beschränkt vergleichbar sind. Diese in Variante A systemimmanenten Ungenauigkeiten mit Auswirkungen auf die Bewertung des ökologischen Vergleichs können mit erhobenen Praxisdaten ausgeschlossen werden. Für das Mess- und Erhebungsprogramm wurden die notwendigen Aufgabenbereiche definiert, die erfüllt werden müssen, um einen vollständigen und konsistenten Datensatz zu erhalten.

Die Durchführung eines entsprechenden Mess- und Erhebungsprogramms an einer Praxis-Biogasanlage hat allerdings den Nachteil, dass die Datenerhebung relativ viel Zeit in Anspruch nehmen wird (schätzungsweise 1 Jahr), v.a. wenn anhand von Ertragsuntersuchungen der landwirtschaftlichen Produkte eine Untersuchung der Düngewirkung der Gärreste vorgenommen werden soll.

Eine umfassende Datenerhebung in einer Praxisanlage könnte in Abstimmung mit den in 2001 vom Agrikulturchemischen Institut der Universität Bonn durchzuführenden Forschungen im Rahmen des Projektes „Biogas Rheinland“ erfolgen.

6.5 Software-Tools für den ökologischen und ökonomischen Vergleich

Im Rahmen der Studie wurden die drei wichtigsten deutschsprachigen Ökobilanzprogramme bewertet, für die auch Demoversionen zur Verfügung standen (GEMIS 3.1, Umberto 3.0, Euclid). Ein wichtiges Kriterium für die Eignung der Software ist die direkte Verbindung der

ökonomischen Daten, mit den Basisdaten der Anlagen und den ökologischen Daten, um ein paralleles Arbeiten an zwei Systemen (Ökologie und Ökonomie) zu ermöglichen, so dass ein direkter Vergleich gezogen werden kann und keine unnötige Doppelarbeit verursacht wird.

Insgesamt stellt sich die Softwarelösung UMBERTO 3.0 des Instituts für Umweltinformatik (IfU) Hamburg als am ehesten geeignet dar, da sowohl ökologische Vergleiche und Schwachstellenanalysen mit der Software-Lösung, als auch umfangreiche Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt werden können. Besonders hervorzuheben sind die vielfältigen statistischen und grafischen Auswertungsmöglichkeiten des Programms.

Alternativ erscheint es effektiv ein entsprechendes Software-Tool angepasst an die Zielsetzung des Projektes auf der Basis der Microsoft Datenbank Access und der Tabellenkalkulation Excel zu entwickeln. Im Verbund bieten die beiden Programme die Möglichkeit mit geringen Programmierkenntnissen, sämtliche relevanten Daten zu erfassen und verwalten (Access) sowie die notwendigen Rechenoperationen mittels der Tabellenkalkulation auszuführen (Excel). Dieses Vorgehen hat gegenüber dem Rückgriff auf „marktübliche“ Programme den Vorteil, ein an die Erfordernisse der speziellen Fragestellung und Zielsetzung angepasstes Werkzeug zu erhalten, welches ohne spezielle Kenntnisse zu Datenbanken und Tabellenkalkulation einfach bedient werden kann.

- (DÖHLER/BAUER 2000) Döhler/Bauer: Der Qualitätsverband Naturdünger e.V.: Die Leistungen der Gütegemeinschaft für Betreiber von Biogasanlagen; in: Reader der 9. Biogastagung 2000, Triesdorf; Fachverband Biogas Triesdorf
- (DÜRKOP 1998) Dürkop, J.: Umweltrechtliche Genehmigung von Biogasanlagen; in: in: Reader der Tagung: „Biogas in der Landwirtschaft“ 1998; Eigenverlag Freising bei München
- (ENERGIETAGE 2000) Energiertage Hessen: Diskussion während der Fachtagung „Biogasanlagen - Erfahrungen und Zukunftsaussichten“ am 4. November 2000 in Wetzlar
- (EMBERT 2000) Embert: Konfliktfälle Bioabfallverordnung versus Düngemittelverordnung; Beispiele und Lösungswege; in: Reader der 9. Biogastagung 2000, Triesdorf; Fachverband Biogas Eigenverlag
- (FB BIOGAS 2000A) Fachverband Biogas e.V.: persönliche Mitteilungen des Geschäftsführer Dr. Claudius da Costa Gomez am 19. Oktober 2000 und 4. November 2000 in Wetzlar
- (FB BIOGAS 2000B) Fachverband Biogas e.V.: Positionspapier zur Reform der Bioabfallverordnung und der Düngemittelverordnung; Freising bei München April 2000
- (FH WEIHENSTEPAN 2000) Fachhochschule Weihenstephan/ Landwirtschaftliche Versuchsanstalt Triesdorf: Ergebnisse und praktische Erfahrungen bei der Vergärung von Futterrüben; in: Reader der 9. Biogastagung 2000, Triesdorf; Fachverband Biogas Eigenverlag
- (FISCHER 1997) Fischer, M.: Transportables Hygienisierungsmodul für landwirtschaftliche Anlagen; Auszug aus der Diplomarbeit Nürnberg
- (FIW 2000) Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft der RWTH Aachen: Untersuchungen zur Mitbehandlung zusätzlicher biogener Abfälle in Faulbehältern auf kommunalen Abwasserreinigungsanlagen; Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Endbericht Aachen April 2000
- (FAL 2000) Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft: Bewertung und Koordination von Vorhaben zur Kofermentation von Bioabfällen; Abschlußbericht Sept. 2000, Institut für Technologie und Biosystemtechnik Braunschweig
- (FRUNZKE 1999) Frunzke, K.: Verfahrens- und Anlagentechnik von Biogasanlagen; Vortrag im Rahmen der „Oberfränkischen Energiertage“ in Kulmbach Jan. 1999
- (FRUNZKE 1999) (3/17) Frunzke, K.: Erzeugung von regenerativer Energie aus organischen Industrieabfallstoffen in Biogasanlagen; Vortrag im Rahmen der „Oberfränkischen Energiertage“ in Kulmbach Jan. 1999
- (GEW 2000) Gas-, Elektrizitätswerke und Wasserwerke Köln AG: persönliche Mitteilungen von Ulrich Langnickel – Technischer Leiter Grüner Strom vom 27. Okt. 2000 und 30. Nov. 2000
- (GRONBACH 1993) Gronbach, G.: Bericht zum Forschungsprojekt: Untersuchung des Hygienisierungseffektes an einer Praxisbiogasanlage; Fachverband Biogas 1993
- (GRONBACH 2000) Gronbach, G.: Praxisseminar für den Betrieb einer Biogasanlage; in: Reader der 9. Biogastagung 2000, Triesdorf; Fachverband Biogas Eigenverlag
- (GRONBACH 2000) Gronbach, G.: Biogasgemeinschaftsanlagen – wann sind sie sinnvoll?; in: Zeitschrift Bioland-Magazin Nr. 5/2000
- (HANNEN 2000) Hannen, M.: Energie aus Biogas als Chance für die Landwirtschaft; in Reader: Biogasanlagen im liberalisierten Strommarkt – Technik und Perspektiven am 27. Jan. 2000 im Haus Düsse
- (HERRLING 1995) Herrling, M.: Biogasanlagen als Gemeinschafts- und Einzelanlage; in: Reader: Niedersächsische Biogastagung in Bremervörde November 1995

- (HESSENENERGIE 1999) HessenEnergie: Biogasnutzung in der Landwirtschaft – Leitfaden Biogasanlagen; Broschüre; Gesellschaft für rationelle Energienutzung mbH, Wiesbaden 1999
- (HESSENENERGIE 1997) HessenEnergie: Geförderte Biogasprojekte in Hessen; Hess. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten 1997
- (HUBER/MAIR/ZELL 2000) Hüber/Mair/Zell: Energetische Nutzung von Biogas aus der Landwirtschaft. Untersuchungen der Biogaszusammensetzung bei Anlagen aus der Landwirtschaft, München, 22.5.97, aktualisiert, Dezember 1999. In: Mit Biogas ins nächste Jahrtausend, Berichte zur 9. Biogastagung an den Landwirtschaftlichen Lehranstalten in Triesdorf, 10-13.01.2000
- (IFEU 2000) Institut für Energie und Umwelt: Stoffbilanzierung mit dem Ziel einer nachhaltigen Verwertung von Abfällen auf pflanzenbaulich genutzten Flächen; Juni 2000 i.A. des Umweltbundesamt Berlin (Kennziffer: 203 10 912)
- (IFU 2000) Diering (IfU): Mitbehandlung von Fettabscheiderrückständen in den Faulbehältern des Klärwerk Krefeld; Versuchsbericht Februar 2000 Aachen
- (JANZING 1998) Janzing, B.: Strom und Wärme aus dem Kuhstall; in Zeitschrift: Neue Energie 5/1998, S. 18 ff.
- (JANZING 1999) Janzing, B.: Strom aus Biogas ist kein Privileg der Bastler mehr; in Zeitschrift: Neue Energie Nr. 3/1999, S. 44 ff.
- (KEHRES 2000) Kehres, B.: Vorstellung der neuen RAL-Gütesicherung Gärprodukte; in: Reader der Tagung „Umsetzung der TASI-Nachfolge-Verordnungen & Gütesicherung von Gärprodukten“ Oktober 2000 Wolfburg
- (KEMPKENS 2000A) Kempkens, K.: Wird Biogas jetzt für Landwirte interessant?; in Zeitschrift: Top agrar 4/00
- (KEMPKENS 2000B) Kempkens, K.: Biogas auch in Öko-Betrieben; in: Zeitschrift Bioland-Magazin Nr. 5/2000
- (KFW 1999) Kreditanstalt für Wiederaufbau: Merkblatt Programm zur Förderung erneuerbarer Energien; Frankfurt/Main 1999
- (KFW 2000) Kreditanstalt für Wiederaufbau: Auswertung des Programm Erneuerbare Energien 1.09. – 1.10.00; Berlin
- (KIRCHNER 1996) Kirchner, N.: Umweltrechtliche und abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen für die Nutzung von Biogasanlagen zur Behandlung von organischen Abfällen; in: Reader der Tagung: „Biogas in der Landwirtschaft“ 1996; Eigenverlag Freising bei München
- (KÖRBERLE 1999) Köberle, E.: Maßnahmen zur Verbesserung der Biogasqualität – Entschwefelung von Biogas in landwirtschaftlichen Biogasanlagen; in Reader: Tagung – Biogas in der Landwirtschaft Jan. 1999 in Hohenlohe
- (KÖTTNER 2000) Köttner, M.: Kleine Biogasanlagen – Perspektiven, Technik und Wirtschaftlichkeit; Fachgruppe Biogas Weckelweiler
- (KRIEG 2000) Krieg, A.: Verteilungsmodelle bei organischen Reststoffen für die Kofermentation und Bioabfallvergärung – Reststoffe aus der Nahrungsmittelverarbeitung und Speisereste; in: Reader der Tagung: „Biogas in der Landwirtschaft“ 1997; Eigenverlag Freising bei München
- (KTBL 1995) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Kuhn, E.): Kofermentation; Arbeitspapier Nr. 219, Darmstadt 1995
- (KTBL 1998) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: Kofermentation; Arbeitspapier Nr. 249, Darmstadt 1997

- (KTBL 1999) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: Datenbank Organische und mineralische Abfälle und Wirtschaftsdünger; CD-ROM zur Beurteilung von Abfällen/Wirtschaftsdünger; Darmstadt
- (KTBL 2000A) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: persönliche Mitteilungen von Frau Schiessl am 10. Okt. und 29. Nov. 2000, Arbeitsgruppe Kofermentation Darmstadt
- (KTBL 2000B) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: Taschenbuch Landwirtschaft 2000/2001, 20. Auflage Darmstadt
- (KTBL 2000c) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: Bioabfallverordnung und landwirtschaftliche Kofermentation, erstellt von der KTBL-Arbeitsgruppe „Bioabfallverordnung und Kofermentation; im Internet siehe unter <http://www.dainet.de/ktbl/umwelt/reststoff/position.htm#Probleme>; Autor: H.Eckel, Darmstadt 2000
- (KÜBLER 2000) Kübler et al.: Co-Vergärung von kommunalen und organischen Abfällen; in: Beiträge zur Abfallwirtschaft Band 12: Anaerobe biologische Abfallbehandlung; Technische Universität Dresden; Fachtagung am 21/22. Februar 2000
- (LFU 1997) Bayerische Landesanstalt für Umweltschutz: Energetische Nutzung von Biogas aus der Landwirtschaft – Gasqualität aus zehn Biogasanlagen, München 1997
- (LUA 2000) Landesumweltamt NRW: „Mitbehandlung von biogenen Abfällen in Faulbehältern; Entwurf des LUA-Merkblatt, Stand: 14. August 2000
- (MARTENS ET AL. 1999) Martens, W., Frank-Fink, A., Philipp, W., Winter, D. und R. Böhm: Seuchenhygienische Bewertung von Anaerobverfahren. In: 7. Hohenheimer Seminar - Biologische Abfallbehandlung - Erste Erfahrungen mit der Bioabfallverordnung. Deutsche Veterinär-medizinische Gesellschaft e.V, Gießen
- (MARTENS ET AL. 2000) Martens/Philip/Böhm: Seuchenhygienische Bewertung von Anaerobverfahren unter besonderer Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Kofermentation; in Bio- und Restabfallbehandlung IV; Abfallforum Kassel S. 965 ff.
- (MITTERLEITNER 2000A) Mitterleitner/Keymer/Schilcher: Silomais: verarbeiten, vergären, verstromen; in Zeitschrift: Landwirtschaftsblatt Weser-Ems Nr. 12 vom 24. März 2000
- (MITTERLEITNER 2000B) Mitterleitner, H.: Ernte 99 und Verwertung auf NaWaRos aus der Praxis; in: Reader der 9. Biogastagung 2000, Triesdorf; Fachverband Biogas Eigenverlag
- (MITTERLEITNER 2000c) Mitterleitner, H.: Biogasproduktion aus Feldfrüchten – Erfahrungen aus der Praxis; Technische Universität München Landtechnik Weihenstephan
- (MULERT 2000) Mulert, G.: Verteilungsmodelle bei Reststoffen aus der kommunalen Biotonnen – Chancen für die Landwirtschaft?; In: Reader der Tagung: „Biogas in der N.N.: Landwirte werden Energiewirte; in: Die Tageszeitung vom 20. Juli 2000, S. 8
- (MUNLV 2000) Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Ökobilanzielle Anforderungen an die Co-Fermentation von biogenen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen; erstellt durch das IFEU-Institut Heidelberg
- (MURL 1999) Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen: Abfallwirtschaft NRW; CD-ROM Düsseldorf
- (NISIPLEANU 2000) Nisipeanu, P.: Co-Vergärung und Mono-Vergärung – Zur Abgrenzung von Abfallrecht und Abwasserrecht; in: Abfallbrief 2/2000
- (OECHSNER 1996) Oechsner, H.: Kofermentation von Flüssigmist und Speiseabfällen; in: Zeitschrift Landtechnik 4/96

- (OECHSNER 1998A) Oechsner, H.: Biogasanlagen in Baden-Württemberg; in: Landtechnik 53 Heft 1 und in: Agrartechnische Berichte Nr. 28/1998 Universität Hohenheim
- (OECHSNER 1998B) Oechsner, H.: Kofermentation am Beispiel der gemeinsamen Vergärung von Gülle und Speiseabfällen Vortrag während der Tagung „Technik anaerober Prozesse“ an Technischen Universität Hamburg
- (OECHSNER 1999A) Oechsner, H.: Erhebung von Daten an Landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Baden-Württemberg, Agrartechnische Berichte Nr. 28/99
- (OECHSNER 1999B) Oechsner, H.: Biogas in Blockheizkraftwerken; Internetseite der Landesanstalt für landw. Maschinen- und Bauwesen an der Universität Hohenheim
- (OECHSNER/KNEBELSPIEß 1999) Oechsner/Knebelspiess: Ermittlungen des Investitionsbedarfs und der Verfahrenskosten von landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Forschungsbericht an das KTBL, AZ.: BML: 113-072-544 01-4/1-99
- (OECHSNER 2000) Oechsner, H.: Biogas in Blockheizkraftwerken; Tagung: Stromgewinnung aus Biomasse – Infodienst Landwirtschaft Baden-Württemberg
- (OECHSNER/HAVRDA 2000) Oechsner/Havrda: Entschwefelung von Biogas durch den Einsatz von Eisen-(II)-sulfat; in: Zeitschrift: Energiepflanzen Nr. 3/2000
- (ÖKL 1999A) Österr. Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung: Landwirtschaftliche Biogasanlagen; Landtechnische Schriftenreihe Heft Nr. 215, Wien
- (ÖKL 1999B) Österr. Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung: Landwirtschaftliche Biogasanlagen, Merkblatt Nr. 61, 3. Auflage Wien
- (ÖKL 1999C) Österr. Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung: Organische Reststoffe für die Cofermentation in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Merkblatt Nr. 65, 1. Aufl. Wien
- (OTT 1997) Ott, M.: Neues zur Genehmigung von Biogasanlagen nach BImSchG - Wasserschutz; in Biogas Rundbrief 6/1997
- (PATTEN 2000) Patten, A.: Biogas birgt ein hohes Strompotential; in: Zeitschrift Bioland-Magazin Nr. 5/2000
- (PHILIPP 1998) Philipp, W.: Ausbringung von Biogasgülle in Wasserschutzgebieten (Hygiene); in: Reader der Tagung: „Biogas in der Landwirtschaft“ 1998; Eigenverlag Freising bei München
- (PHILIPP ET AL. 2000A) Philipp, W.: Berücksichtigung der Anforderungen der Hygiene bei der anaeroben Behandlung; in: Reader der Tagung „Umsetzung der TASI-Nachfolge-Verordnungen & Gütesicherung von Gärprodukten“ Oktober 2000 Wolfburg
- (PHILIPP ET AL. 2000B) Philipp/Schießl/Döhler: Abfälle entsorgen, Strom produzieren; in Zeitschrift: Landwirtschaftsblatt Weser-Ems Nr. 16 vom 21.4.2000
- (PHILIPP/MARTENS 2000) Philipp/Martens: Hygieneuntersuchungen – Anforderungen, Probleme, Lösungswege; in: Reader der 9. Biogastagung 2000, Triesdorf; Fachverband Biogas Eigenverlag, aaO S.21-32
- (PLANET 2000) Ertrag und Deckungsbeitrag aus einem Hektar Ganzpflanzen-Silagemais mit verschiedenen BHKWs, Herr Becker, Fachverband Biogas e.V. Regionalgruppe NRW Dez. 2000
- (REIMANN 2000) Reimann, H.-J.: Bedeutung der Gütesicherung von Gärprodukten vor dem Hintergrund der Bioabfallverordnung; in: Reader der Tagung „Umsetzung der TASI-Nachfolge-Verordnungen & Gütesicherung von Gärprodukten“ Oktober 2000 Wolfburg

- (RÜNZI 1999) Rünzi, M.: Klimawirkung landwirtschaftlicher Biogasanlagen – Versuch einer monetären Bewertung; in Reader: Tagung Biogas in der Landwirtschaft Jan. 1999 in Hohenlohe
- (SCHATTNER ET AL.) Schattner/Gronauer/Mittleitner/Reuss: Bewertung der Biogastechnologie; Landesanstalt für Landtechnik, Weihenstephan o.J.
- (SCHNEICHEL 1998) Schneichel, H.-W.: Vorgaben bei der landbaulichen Verwertung anaerob behandelte organischer Reststoffe; in: in: Reader der Tagung: „Biogas in der Landwirtschaft“ 1998; Eigenverlag Freising bei München
- (SCHNIPPE 2000) Schnippe, F.: Mit Silomais dreht sich die Anlage; in Zeitschrift: Top agrar Nr. 4/2000, S. 33 ff.
- (SCHULZ 1997) Schulz, H.: Entwicklungsstand und Einsatz von Kofermentationsanlagen; Fachverband Biogas e.V. Kirchberg/Jagst
- (SCHUMACHER 2000) Schumacher, U.: Welche Kofermente sind erlaubt?; in: Zeitschrift Bioland-Magazin Nr. 5/2000
- (TRÖSCH/WEILAND 1998) Trösch W, Weiland P: Verfahrenstechnik der Kofermentation. KTBL-Arbeitspapier 249:9-15
- (UBA 1999) Umweltbundesamt Berlin: Ökologische Bilanzen in der Abfallwirtschaft; erstellt vom IFEU-Institut Heidelberg 1999
- (VDMA 1997) Verband deutscher Maschinenbau: Klassifizierung organischer Rückstände für die Vergärung und Kompostierung; Frankfurt/Main August 1997
- (VON OHEIMB 1997) Oheimb von, R.: Strukturanalyse der landwirtschaftlichen Biogasanlagen für die BRD; in: Reader der Tagung: „Biogas in der Landwirtschaft“ 1997; Eigenverlag Freising bei München
- (VON OHEIMB 1999) Oheimb von, R.: Betriebserfahrungen mit Biogasanlagen in der Landwirtschaft. ATV-Seminar Biogas, Verwertung und Aufbereitung, Essen, 08./09. Februar 1999
- (WEILAND 2000A) Weiland, P.: persönliche Mitteilungen in den Gesprächen vom 21. September 2000 und 1. Dezember 2000
- (WEILAND 2000B) Weiland, P.: Strom aus der Vergärung landwirtschaftlicher Stoffe: Die rasante Entwicklung der letzten Jahren anhand von Beispielen dargestellt; in: Gülzower Fachgespräche: Energetische Nutzung von Biomasse durch Kraft-Wärme-Kopplung; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2000
- (WELLINGER 1997) Wellinger, A.: Biogasprozess: Mögliche Probleme von A bis Z; in: in: Reader der Tagung: „Biogas in der Landwirtschaft“ 1997; Eigenverlag Freising bei München
- (WENDLER 1997) Wendler, D.: Stand der Co-Fermentation in Deutschland – Eine Bestandsaufnahme der Erfahrungen in der Praxis; Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover August 1997
- (WINTZER 1996) Wintzer O.A. (1996): Wege zur umweltverträglichen Verwertung organischer Abfälle. Band 97 der Reihe Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Erich-Schmidt-Verlag Berlin

Ausgewertete Literatur

- Amon/Boxberger/Lindworsky (1997): Biogasprojekte in Österreich – Forschungen, Beratung und Ausbildung; in: Reader der Tagung: „Biogas in der Landwirtschaft“ 1997; Eigenverlag Freising bei München
- ATV (2000): Stellungnahme zum Merkblattentwurf des LUA „Mitbehandlung von biogenen Abfällen in Faulbehältern“; Hennef
- Bahadir/Parlar/Spiteller (2000): Springer-Umweltlexikon; Springer Verlag Berlin
- Bank, M. (2000): Anaerobverfahren und biologische Restmüllbehandlung; in: Basiswissen Umwelttechnik; Vogel Verlag Würzburg
- Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft (1997): Umfrageergebnisse von Biogasanlagen aus Bayern, München Weihenstephan
- Bergmann/Clemens/Goldbach (1999): The impact of anaerobic digestion of slurry on trace gas emissions after slurry application; in: 10th Nitrogen Workshop Copenhagen/Denmark August 1999
- Beyer, M. (2000): Erste Praxiserfahrungen mit der Gütesicherung von flüssigen Gärprodukten; in: Reader der Tagung „Umsetzung der TASI-Nachfolge-Verordnungen & Gütesicherung von Gärprodukten“ Oktober 2000 Wolfburg
- Bidlingmaier, W. (2000): Anaerobe Verfahren (Vergärung) in: Biologische Abfallverwertung; Ulmer Verlag Stuttgart, S. 120 ff.
- Bioteg GmbH (2000): Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen in der Landwirtschaft; Internetseite der Fa. Bioteg (www.bioteg.de)
- Block, C. (2000): Biogasanlagen im liberalisierten Strommarkt – Technik und Perspektiven; Zentrum für nachwachsende Rohstoffe NRW im LZ Haus Düsse
- BMELF (1999): Gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung; Broschüre im Eigenverlag Bonn
- Chenchanna/Hunklinger (1996): Vergleich der Vergleiche – Studien über Software zu Ökobilanzierung; in: Müllmagazin Nr. 4/1996, S. 79 ff.
- Christian-Bickelhaupt (2000): Zugelassene Stoffe, Nachweis – Lieferscheinverfahren, Gütesicherung; in: Reader der 9. Biogastagung 2000, Triesdorf; Fachverband Biogas Eigenverlag
- Döhler/Kuhn/Schwab (1996): Verwertung von ausgefaultem Flüssigdünger in der Landwirtschaft; in: Reader der Tagung: „Biogas in der Landwirtschaft“ 1996; Eigenverlag Freising bei München
- Edelmann/Schleiss (1999): Ökologischer, ökonomischer und energetischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe; Bundesamt für Energie der Schweiz
- Egeli/Egger (1999): Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen; Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT); FAT-Bericht Nr. 530 Tänikon
- Fachhochschule Fulda (1998): Biogasanlagen im Biosphärenreservat Rhön; Fachhochschulzeitung und Internet (www.fh-fulda.de)
- Fachverband Biogas e.V. (1999): Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen; Eigenverlag Freising bei München
- Fachverband Biogas e.V. (o.J.): Genehmigung von Biogas-Anlagen und Verwertung des anfallenden Gärrückstandes; Faltblatt Eigenverlag
- Fachverband Biogas e.V. (o.J.): Verwertung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen – Rahmenbedingungen und Potenziale; Faltblatt Eigenverlag
- Fachverband Biogas e.V. (o.J.): Verwertung von Fetten aus Fettabscheidern mit Gülle in landwirtschaftlichen Biogasanlagen; Faltblatt Eigenverlag

- Fachverband Biogas e.V. (o.J.): Vergärung von Gras, Silage und Heu in landwirtschaftlichen Biogasanlagen; Faltblatt Eigenverlag
- Fachverband Biogas e.V. (o.J.): Biogasanlagen in der Landwirtschaft; Eigenverlag Freising bei München
- Haug/Trautmann/Simon (2000): Kraft und Wärme gekoppelt; in: Zeitschrift Bioland-Magazin Nr. 5/2000
- Hoffmann, M (2000): Biogas aus Festmist durch Trocken-Vergärung; in: Zeitschrift Bioland-Magazin Nr. 5/2000
- IFEU - Institut für Energie und Umwelt: Umberto – fortschrittliche Software zur Ökobilanzierung; Heidelberg Mai 2000
- Keller, M. (2000): Vergärung von Speiseabfällen nach dem IMK-Verfahren; in: Zeitschrift Wasser-Boden-Luft-Umweltschutz Nr. 1-2/2000
- Kaupenjohann, M. (2000): Untersuchung der Emission direkt und indirekt wirksamer Spurengase während der Lagerung und nach der Ausbringung von Kofermentationsrückständen sowie Entwicklung von Verminderungsstrategien; Universität Hohenheim; Fg. Bodenchemie
- Kellner, C. (1998): Fett + Gelatine + Gülle = Biogas plus; in Zeitschrift: Neue Energie 5/98, S. 20 ff.
- Kersting/an der Pütten (1997): Fette Möglichkeiten – bei der Entsorgung von Altfetten zeichnet sich ein breites Verwertungsspektrum ab; in Zeitschrift: Müllmagazin Nr. 3/1997, S. 38 ff.
- Köttner, M. (1998): 200.000 Biogasanlagen sind möglich; in: in Zeitschrift: Neue Energie 5/98, S. 16 ff.
- Krieg, A. (1993): Verwertung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen – Rahmenbedingungen und Potentiale; Fachverband Biogas
- KTBL (1997): Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und –verwertung; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Arbeitspapier Nr. 242, Darmstadt 1998
- KTBL (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz – Schlußfolgerungen für gute fachliche Praxis, Arbeitspapier 266 Darmstadt
- Kunz, H.-G.: Düngung mit Biogasgülle im Futterbaubetrieb; in Reader: Niedersächsische Biogastagung in Bremervörde November 1995
- Landesumweltamt Brandenburg (1999): Verwertung von Gärrückstand aus der Anaerobbehandlung von Bioabfällen als Sekundärrohstoffdünger; in: Jahresbericht der LUA Potsdam 1999
- Landwirtschaftskammer Hannover (2000): Biogas gewinnt an Bedeutung; Internetseite der Landwirtschaftskammer Hannover
- Langhans, G. (2000): Co-Vergärung in der Praxis; in: Abfallbrief 2/00, S7 ff.
- Lemmer/Oechsner (2000): Einsatz von Mähgut landwirtschaftlich nicht genutzter Flächen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen; in: Biogas-Journal Nr. 2 Mai 2000
- Lücke, K.-F. (1998): Kofermentation organischer Abfälle in landwirtschaftlichen Biogasanlagen; in: Abfallwirtschaftsjournal 1-2/1998
- Mitterleitner, H. (o.J.): Verwertung von Fetten aus Fettabscheidern mit Gülle in landwirtschaftlichen Biogasanlagen; Technische Universität München Weihenstephan
- Mitterleitner, H. (o.J.): Stellungnahme zur Einleitung häuslicher Abwässer in landwirtschaftliche Biogasanlagen; Technische Universität München Weihenstephan
- Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (MURL 1999): Biogas in der Landwirtschaft: Grundlagen – Technik – Förderung
- N.N. (2000): Forscher verdoppeln Biogas-Ausbeute; in Zeitschrift: UmweltMagazin 3/2000
- N.N. (2000): Förderung stärkt Wirtschaftlichkeit; in Zeitschrift: Landwirtschaftsblatt Weser-Ems Nr. 10 vom 10. März 2000

- N.N. (2000): Ausarbeitung zum Reformbedarf der Bestimmungen des Abfallrechtes (BioabfallVO) einerseits sowie des Düngemittelrechtes (DüngemittelVO) andererseits
- N.N. (2000): Bei Temminghoffs wird Gas gegeben!; in Zeitschrift: Energiepflanzen Nr. 3/2000
- Rossmann, M. (1998): Biogas – Die Zukunft der Erntegutttrocknung; April 1998 Beuerberg/Bayern
- Schnell, R. (1997): Wärme aus Biogas; in: Zeitschrift awt Nr. 2/ 1997
- Schulz, H.: (2000) Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele; 2. Auflage; Staufen bei Freiburg; Ökobuch Verlag
- Sedlmeier, J. (2000): Futterrüben als Kraftwerk; in Zeitschrift: Landwirtschaftsblatt Weser-Ems Nr. 11 vom 17. März 2000
- Seltmann, K. (1999): Verwertung von Gärrückstand aus der Anaerobbehandlung von Bioabfällen als Sekundärrohstoffdünger – Inputproblematik aus abfall- und düngemittelrechtlicher Sicht; in: Jahresbericht Landesumweltamt Brandenburg; S. 178 ff.
- Stegmann/Bade/Arndt/Rilling (1998): Ohne großen Aufwand – ATF-Verfahren eignet sich zur biologischen Behandlung von Reststoffen mit unterschiedlichen Feststoffgehalten; in : Müllmagazin Nr. 3/1998, S. 11 ff.
- Stegmann/Herrenklage (1998): Theorie und Praxis – Testsysteme im Labormaßstab zur Simulation biologischer Abbauprozesse helfen bei der Optimierung von Verfahren; in: Müllmagazin Nr. 3/1998, S. 16 ff.
- Steffler et. al. (1999): Umweltstandards; Springer Verlag Berlin
- Uismedia (1999): CropData – Kennwerte und ökologische Ansprüche der Ackerkulturen; CD-ROM Freising
- Umweltbundesamt Wien (1996): Tagungsband: „Internationale Erfahrungen mit der Verwertung biogener Abfälle zur Biogasproduktion
- Weiland P (1996) Einsatz der Biogastechnik bei der kommunalen Verwertung von Reststoffen in Deutschland. Bundesministerium für Wissenschaft, Verkehr und Kunst, Wien, p 24, Bericht aus Energie- und Umweltforschung 8a/96
- Weiland P (1997) Kofermentation von kommunalen und industriellen organischen Abfallstoffen in Biogasanlagen; in: Forum für Zukunftsenergien Biomasse zur Wärme- und Stromerzeugung im kommunalen Umfeld. , pp 168-177, Schriftenreihe des Forums für Zukunftsenergien 42; vom 07.-09.10.1998. DECHEMA, Hamburg, pp 179-189
- Weiland P (1997) Potentiale und Vorschriften bei der Kofermentation; in: Biogas in der Landwirtschaft. Biogas Fachverband, Weckelweiler 1997
- Weiland P (1998) Abfallverwertung durch Kofermentation: Anforderungen, Einsatz-möglichkeiten und Anwendungsgrenzen. In: Technik anaerober Prozesse: Beiträge einer Veranstaltung des Sonderforschungsbereich 238 der Deutschen Forschungsgemeinschaft an der Technischen Universität Hamburg-Harburg in Zusammenarbeit mit dem DECHEMA-Forschungsausschuß Biotechnologie der DECHEMA e.V.
- Weiland P, Karle G (1998) Kofermentation von Bioabfällen nach dem Rotenburger Konzept. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (ed) Bioabfallverwertung: Ergebnisse des Förderschwerpunktes. Zeller, Osnabrück, pp 291-293, Initiativen zum Umweltschutz 10
- Weiland P (1999) Technik von Biogasanlagen. In: Anwenderforum energetische Nutzung von Pflanzenöl und Biogas: 24. November 1999, Kloster Banz. OTTI, Regensburg, pp 73-82, ISBN 3-934681-01-8
- Weiland P, Rieger C (1999) Verminderung klimawirksamer Spurengase durch Kofermentation. Agritechnica Hannover, 1999.
- Wellinger, A.(1991): Biogas-Handbuch, Wirz Verlag, Aarau/Schweiz, 2. Auflage
- Wichmann, P. (1999): Können landwirtschaftliche Biogasanlagen eine Alternative zum Kanalanschlußzwang darstellen?; in: Reader der Oberfränkischen Energietage 1999 – Symposium „Energie und Kommune“ in Kulmbach

Widmann, R. (1999): Anaerobtechnik; in: Biologische Abfallverwertung, Hrsg. Bidlingmaier, W., Ulmer Verlag Stuttgart

Wulf/Kusel/Maeting/Clemens (1999): Emission of trace gases after spreading of co-fermentation products – evaluation of different application techniques; in: 10th Nitrogen Workshop Copenhagen/Denmark August 1999, Agrikulturchemisches Institut der Universität Bonn

S. Wulf, S. Bergmann, M. Maeting and J. Clemens (2000): Importance of simultaneous measurement of NH₃, N₂O and CH₄ for evaluating the efficiency of measures to reduce trace gas emissions; Agrikulturchemisches Institut der Universität Bonn

Rechtstexte

Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen: Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (vom 27. September 1994)

Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 6.3.1997; Bundesgesetzblatt (III 2129-6-6):

Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung – BioAbfV) vom 21. Sept. 1998; Bundesgesetzblatt (2955 Teil I Nr. 65):

Düngemittelgesetz vom 15. November 1977, zuletzt geändert durch das Gesetz zur Änderung des Düngemittelgesetzes vom 17. Dezember 1999

Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 26. Januar 1996, geändert durch die Zweite Verordnung zur Änderung düngemittelrechtlicher Vorschriften vom 16. Juli 1997

Düngemittelverordnung (DüMV) vom 4. August 1999

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen, durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) Fassung vom 14. Mai 1990

Gesetz über die Beseitigung von Tierkörpern, Tierkörperteilen und tierischen Erzeugnissen (Tierkörperbeseitigungsgesetz - TierKBG) Vom 2. September 1975

Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) vom 24. März 1999)

Entwurf: Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung) Bundesumweltministerium, Stand 29. Mai 2000 Bonn

sowie

Hinweise zum Vollzug der Bioabfallverordnung; Bundesumweltministerium, Stand 24.08.00 Bonn

Übersicht über laufende und abgeschlossene Projekte zur Kofermentation

ACI/FAL/ILT/KTBL: Untersuchung der Emission direkt und indirekt klimawirksamer Spurengase während der Lagerung und nach der Ausbringung von Kofermentationsrückständen sowie Entwicklung von Verminderungsstrategien; Projekt gefördert durch die Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück 1998-2000

Ahl: Verbundvorhaben: Aerobe und anaerobe Behandlung von Bio- und Küchenabfällen sowie anderen Rest- und Abfallstoffen tierischer Herkunft unter den Aspekten der Seuchenhygiene, Teilprojekt BFAV Tübingen; Bundesforschungsanstalt für Viruskrankheiten der Tiere 1996 - 1999

Böhm, R.: Untersuchungen zur Seuchenhygiene bei der Vergärung (Cofermentation) von Speiseabfällen zusammen mit Gülle; Universität Hohenheim, Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik 1995 - 1996

Prof. Dr. Reinhard Böhm; Dr. Wolfram Martens: Verbundvorhaben: Aerobe und anaerobe Behandlung von Bio- und Küchenabfällen sowie anderen Rest- und Abfallstoffen tierischer Herkunft unter den Aspekten der Seuchenhygiene, Teilprojekt Uni Hohenheim (Koordination); Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik der Universität Hohenheim; Bundesforschungsanstalt für Viruskrankheiten der Tiere, 1996 - 1999

Cordes, Christian, Dipl. Ing. agr.: Entwicklung, Einsatz und Erprobung einer neuartigen Pilotanlage zur gleichzeitigen Güllevergasung und -separierung auf dem landwirtschaftlichen Betrieb Cordes; Institut für Technologie der FAL Braunschweig 2000 - 2003

Grieder AG/Hermann Herzer Stiftung: Schlachtabfälle zu Biogas; Projekt 1998 - 2001, Basel/Schweiz

Institut für Agrartechnik: Langzeituntersuchungen der Vergärung von Rindergülle und Fettabscheiderinhalten; Bornim 1999 - 2001

Krämer: Vergärung von Rapsextraktionsschrot unter anaeroben Bedingungen; Biologische Umwelttechnik an der Neiße, Bi-Utec, Hirschfelde 1995

Linke, B.; Schelle, H.: Anaerobe Aufbereitung von Gülle und fetthaltigen Abfällen durch Kofermentation; Institut für Agrartechnik Bornim e.V. Abt. Bioverfahrenstechnik; Kooperationspartner: Technische Fachhochschule Berlin, Fachbereich Chemie und Biotechnik; Vieh & Fleisch GmbH Frankenförde 1996 - 1999

Linke, B.; Schelle, H.: Grundlagen zur Biomethanisierung pflanzlicher Biomassen; Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB), Abteilung Bioverfahrenstechnik Kooperationspartner: Fachverband Biogas; Landesanstalt für Landwirtschaft Güterfelde; Humboldt-Universität zu Berlin, Technik in der Pflanzenproduktion; Vieh & Fleisch GmbH, Frankenförde 1998 - 2001

Oechsner, H.: Gemeinsame Vergärung von Speiseabfall und Flüssigmist; Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen an der Universität Hohenheim, Institut für Umwelt und Tierhygiene 1994 - 1996

Oechsner, H.; Weckenmann, D.: Erhebung von verfahrenstechnischen Daten an Praxisbiogasanlagen in Baden-Württemberg; Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen an der Universität Hohenheim 1995 - 1996

Ostendorf, Elsbeth: Errichtung und Betrieb einer Anlage zur landwirtschaftlichen Biogaserzeugung mit Rübenmus als Co substrat; Institut für Technologie der FAL Braunschweig 2000 - 2003

Trösch, W.: Umweltverträgliche Gülleaufarbeitung und -verwertung; Projekt des Fraunhofer Institut Grenzverfahren- und Bioverfahrenstechnik, Stuttgart 1999- 2001

Trösch, W.: Kommunale Umwelttechnik: Vergärung von Biomüll; Projekt des Fraunhofer Institut Grenzverfahren- und Bioverfahrenstechnik Stuttgart 1999 - 2001

Volkman, Dr. B.; Pfaff, H.: Versuche zur biologischen Entschwefelung von Biogas; Hessisches Ministerium des Inneren und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz; Hessenenergie, Gesellschaft für rationelle Energienutzung mbH, Wiesbaden 1996 - 1997

Vorlop, K.-D.;Willke, T.: Entwicklung neuer analytischer Methoden zur Überwachung technologischer Verfahren der Reststoffverwertung in der Landwirtschaft; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig-Völkenrode, Institut für Technologie 1994 -1999

Vorlop, K.-D.: Entwicklung neuer analytischer Methoden zur Überwachung technologischer Verfahren der Reststoffverwertung in der Landwirtschaft; Projekt der FAL Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Braunschweig 1997-2000

Wagner, K.;Pfaff, H.: Kofermentation von Grüngutabfällen in Biogasanlagen; Hessisches Ministerium des Inneren und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz 1996

Weiland, P.: Bewertung von Vorhaben zur Co-Fermentation von Bioabfälle; Projekt der FAL Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Braunschweig 1996-1999

Weiland, P.: Biogasgewinnung aus verschiedenen landwirtschaftlichen Rohstoffen; Projekt der FAL Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Braunschweig 1994-2000

Weiland, P.; Bewertung und Koordinierung von Vorhaben zur Kofermentation von Bioabfällen; KTBL (Projektbetreuung); DBU (Projektfinanzierung und -beratung), FAL Braunschweig, Institut für Technologie 1996- 2000

Weiland, P.: Thermophile Vergärung fetthaltiger Abfälle aus der Landwirtschaft; Projekt der FAL Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Braunschweig 1997-2000

Weiland, P. (Projektleiter); Karle, G.: Bewertung von Vorhaben zur Co-Fermentation von Bioabfällen; FAL Braunschweig, Institut für Technologie 1996 - 1999

Weiland, P. (D); Thiele, J. (NZ): Thermophile Vergärung fetthaltiger Abfälle aus der Landwirtschaft; FAL, Institut für Technologie und Biosystemtechnik; Abt. Technologie und Invermay Agricultural Centre/Waste Solutions Mosgiel 1998 – 2000

ANLAGE 1

Abbildung 38: *Biogas-Großanlagen in Deutschland* (nach WEILAND 2000B)

Standort	Kosubstrate	Kapazität (t/a)	Fermenter- volumen (m³)	Inbetrieb- nahme
Barth	Org. Industrieabfälle	60.000	4.000	1995
Behringen	Org. Industrieabfälle	23.000	2 x 800	1995
Bernstorf	Org. Industrieabfälle	43.000	2 x 1.200	1995
Finsterwalde	Org. Industrieabfälle	91.000	4 x 900	1995
Fürstenwalde	Bioabfälle und Gewerbeabfälle	85.000	2 x 3.300	1998
Göritz	Gewerbeabfälle	33.000	2 x 950	1996
Großmühlingen	Bioabfälle	40.000	2 x 800	1996
Gröden	Org. Industrieabfälle	110.000	2 x 3.100	1995
Neubukow	Org. Industrieabfälle	80.000	2 x 2.300	1999
St. Michalisdonn	Org. Industrieabfälle	40.000	2.2250	1996
Pastiz	Org. Industrieabfälle	100.000	2 x 2100	1997
Sagard	Bioabfälle und Gewerbeabfälle	48.000	3 x 725	1996
Surwold	Org. Industrieabfälle	16.000	2 x 500	1996
Wittmund	Org. Industrieabfälle	126.000	2 x 3.500	1996

ANLAGE 2

Abbildung 39: *Dungwert von Gärresten* (nach WEILAND 2000B)

Ökonomische Bewertung der Gärreste aus Biogasanlagen mit Hilfe des Substitutionskostenansatz (Fachverband Biogas)	Einsparung in DM
Gärreste sind in ihren düngetechnischen Eigenschaften und ihrer Wirkung vergleichbar mit Rohgülle, die mit dem gleichen Volumen Wasser verdünnt wurde. Gülle mit Wasserzusatz verursacht Lager- (4 DM/m ³) und Ausbringungskosten (6 DM/m ³)	10 DM/m ³
Gärreste sind in ihren düngetechnischen Eigenschaften und ihrer Wirkung vergleichbar mit belüfteter Gülle, enthalten aber einen höheren Prozentsatz an Stickstoff. Die Kosten der Güllebelüftung (8 DM/m ³) und der gasförmige Verlust an Stickstoff (2 DM/m ³) wird eingespart.	10 DM/m ³
Gärreste ersparen die direkte Einarbeitung nach der Ausbringung. Berechnungsbasis: Ausbringmenge 2 x 20 m ³ /ha x a; Kosten für Schlepper, Gerät und Arbeitszeit für Einarbeitung	2,50 DM/m ³
Gärreste enthalten einen höheren Prozentsatz an Stickstoff in mineralischer Form. Berechnungsbasis: 1 kg NH ₄ -N mehr pro m ³ ; Bezugspreis: 1,10 DM/kg NH ₄ -N	1,10 DM/m ³

ANLAGE 3

Abbildung 40: Ertrag und Deckungsbeitrag aus 1 Hektar Ganzpflanzen-Silagemais mit verschiedenen BHKWs (nach PLANET 2000)

	Ertrag je Hektar	45 t/ha auf gutem Standort
	Biogas je Jahr	9.125 m ³
	Beschaffungskosten	2.000 DM/ha
Gasmotor, 40 KW, elekt. Wirkungsgrad 25 %	Stromertrag	14.020 kWh
	Vergütung	2.806 DM
	Deckungsbeitrag	806 DM
Zündstrahler 40 KW, elektr. Wirkungsgrad 33 %	Stromertrag	18.519 DM
	Vergütung	3.704 DM
	Deckungsbeitrag	1.704 DM
Zündstrahler 100 KW, elektr. Wirkungsgrad 38 %	Stromertrag	21.325 kWh
	Vergütung	4.265 DM
	Deckungsbeitrag	2.265 DM

ANLAGE 4

Abbildung 41: Deckungsbeiträge bei der Vergärung von Silomais und Corn-Cob-Mix
(MITTERLEITNER 2000)

	Silomais		Corn-Cob-Mix	
Spezifische Gaserzeugung (L/kg oTS)	670		700	
Gaserzeugung (m ³ /t Material)	225		445	
Ertragsniveau mit 13 % Verlust (dt/ha)	313	449	110	150
Gasertrag m ³ /ha	7046	10.108	4.900	6.682
Marktleistung				
Stromerzeugung (kWh _{el} /ha)	13.529	19.407	9.408	12.829
Stromverkauf (DM/ha)	1.987	2.851	1.506	2.054
Dungwertanteil im Substrat (DM/ha)	191	274	149	186
Summe Marktleistung (DM/ha)	2.178	3.125	1.655	2.240
Variable Kosten DM/ha				
Mais-Silage/CCM frei Silo (DM/ha)	1.250	1.500	1.240	1.330
Kosten Flachsilo (DM/ha)	58	84	17	23
Silage-Transport (DM/ha)	53	76	11	15
Ausbringkosten Substrat (DM/ha)	180	258	51	70
Biogasanlage (DM/ha)	365	524	282	385
Summe Variable Kosten (DM/ha)	1.906	2.442	1.601	1.823
Deckungsbeitrag (DM/ha)	272	683	54	417

ANLAGE 5

Abbildung 42: Berechnung der Betriebskosten bei 100 GV-Anlagen (OECHSNER/KNEBELSPIEB 1999)

Zeile	Kostenpositionen	100 GV + Mono- vergärung	100 GV + 10 % Fette	100 GV + 20 % Fette	100 GV + 50 % Fette
A	Gesamtinvestition	128.930 DM	179.870 DM	196.460 DM	334.590 DM
B	Von A Bau	87.670 DM	92.580 DM	98.490 DM	130.380 DM
C	Von A Technik	41.260 DM	52.400 DM	66.570 DM	143.080 DM
D	Von A Kofermentation	-----	25.890 DM	31.930 DM	61.130 DM
E	./Förderung Bundes- zuschuss	53.000 DM	53.000 DM	53.000 DM	53.000 DM
F	Gesamt-Netto- Investition	75.930 DM	117.870 DM	143.460 DM	281.590 DM
G	Bau 68 % von A	87.670 DM	116.190 DM	133.590 DM	227.521 DM
H	Technik 32 % von A	41.260 DM	54.680 DM	62.870 DM	107.069 DM
I	Zinsaufwand 50 % von F x 6 %	2.278 DM (3.868 DM)	3.536 DM (5.126 DM)	4.304 DM (5.894 DM)	8.448 DM(10.038 DM)
J	Afa Bau 6,25 % (16 Jahre) von G	5.479 DM	7.262 DM	8.349 DM	14.220 DM
K	Afa Technik 12,5 % (8 Jahre) von H	5.158 DM	6.835 DM	7.859 DM	13.384 DM
L	Erhalt Bau 1% von G	877 DM	1.160 DM	1.336 DM	2.275 DM
M	Erhalt Technik 4 % von H	1.650 DM	2.190 DM	2.515 DM	4.283 DM
N	Versicherung 0,2 % von A	258 DM	342 DM	393 DM	669 DM
O	Lohn 25 DM x 166 Akh	4.150 DM	5.948 DM	8.250 DM	17.975 DM
P	Zündöl (0,40 DM/l)	1.253 DM	2.036 DM	3.032 DM	8.370 DM
Q	Betriebskosten mit Förderung	21.103 DM	29.309 DM	36.038 DM	69.624 DM
R	Betriebskosten ohne Förderung	22.693 DM	30.899 DM	37.628 DM	71.214 DM

ANLAGE 6

Abbildung 43: Berechnung der Betriebskosten der KATALYSE-Varianten

Zeile	Kostenpositionen	100 GV Monovergärung	100 GV + Corn-Cob-Mix	100 GV + 30 % Fette
A	Gesamtinvestition	203.500 DM	262.900 DM	243.100 DM
B	Von A Bau	117.700 DM	117.700 DM	117.700 DM
C	Von A Technik	85.800 DM	85.800 DM	85.800 DM
D	Von A Kofermentation	-----	(inkl. Lager) 59.400 DM	39.600 DM
E	./Förderung Bundeszuschuß	53.000 DM	91.000 DM	53.000 DM
F	Gesamt-Netto-Investition	150.500 DM	171.900 DM	190.000 DM
G	Bau 68 % von A	138.380 DM	178.770 DM	165.310 DM
H	Technik 32 % von A	65.120 DM	84.130 DM	77.790 DM
I	Zinsaufwand 50 % von F x 6 %	4.515 DM (6.105 DM)	5.157 DM (7.887 DM)	5.700 DM (7.290 DM)
J	Afa Bau 6,25 % (16 Jahre) von G	8.649 DM	11.173 DM	10.331 DM
K	Afa Technik 12,5 % (8 Jahre) von H	8.140 DM	10.516 DM	9.724 DM
L	Erhalt Bau 1% von G	1.383 DM	1.787 DM	1.653 DM
M	Erhalt Technik 4 % von H	2.605 DM	3.365 DM	3.111 DM
N	Versicherung 0,2 % von A	407 DM	526 DM	486 DM
O	Lohn 25 DM x 166/400/440 Akh	4.150 DM	10.000 DM	11.000 DM
P	Zündöl (0,60 DM/l)	1.880 DM	4.300 DM	5.466 DM
Q	Betriebskosten mit Förderung	31.729 DM	46.824 DM	47.471 DM
R	Betriebskosten ohne Förderung	33.319 DM	49.554 DM	49.061 DM

ANLAGE 7

Abbildung 44: Berechnung der Betriebskosten für Großanlagen (OECHSNER/KNEBELSPIEB 1999)

Zeile	Kostenpositionen	250 GV + 10 % Fette	500 GV + 10 %Fette	1.000 GV + 10 % Fette
A	Gesamtinvestition	292.130 DM	494.220 DM	898.400 DM
B	Von A Bau	163.450 DM	281.560 DM	517.780 DM
C	Von A Technik	96.180 DM	169.150 DM	315.080 DM
D	Von A Kofermentation	32.500 DM	43.510 DM	65.540 DM
E	./Förderung Bundeszuschuss	88.000 DM	140.000 DM	225.000 DM
F	Gesamt-Netto-Investition	204.130 DM	354.220 DM	673.400 DM
G	Bau 68 % von A	198.650 DM	336.070 DM	610.910 DM
H	Technik 32 % von A	93.482 DM	158.150 DM	287.490 DM
I	Zinsaufwand 50 % von F x 6 %	6.039 DM	10.627 DM	20.202 DM
J	Afa Bau 6,25 % (16 Jahre) von G	12.416 DM	7.262 DM	38.180 DM
K	Afa Technik 12,5 % (8 Jahre) von H	11.685 DM	21.004 DM	35.936 DM
L	Erhalt Bau 1% von G	1.987 DM	3.360 DM	6.109 DM
M	Erhalt Technik 4 % von H	3.739 DM	6.326 DM	11.500 DM
N	Versicherung 0,2 % von A	584 DM	848 DM	1.797 DM
O	Lohn 25 DM x 166 Akh	10.300 DM	15.600 DM	23.625 DM
P	Zündöl (0,40 DM/l)	5.110 DM	10.220 DM	20.440 DM
Q	Betriebskosten mit Förderung	51.860 DM	75.247 DM	157.789 DM

ANLAGE 8

Abbildung 45: Berechnung der Betriebskosten für 50 GV-Anlagen (OECHSNER/KNEBELSPIEB 1999)

Zeile	Kostenpositionen	50 GV + 10 % Fette	50 GV + 20 % Fette	50 GV + 50 % Fette
A	Gesamtinvestition	130.455 DM	143.246 DM	212.314 DM
B	Von A Bau	68.962 DM	71.915 DM	87.860 DM
C	Von A Technik	37.809 DM	44.894 DM	83.148 DM
D	Von A Kofermentation	23.684 DM	26.437 DM	41.306 DM
E	./Förderung Bundeszuschuss	41.000 DM	41.000 DM	41.000 DM
F	Gesamt-Netto-Investition	89.455 DM	102.246 DM	171.314 DM
G	Bau 68 % von A	88.709 DM	97.407 DM	144.374 DM
H	Technik 32 % von A	41.746 DM	45.839 DM	67.940 DM
I	Zinsaufwand 50 % von F x 6 %	2.684 DM	3.067 DM	5.139 DM
J	Afa Bau 6,25 % (16 Jahre) von G	5.544 DM	6.088 DM	9.023 DM
K	Afa Technik 12,5 % (8 Jahre) von H	5.218 DM	5.730 DM	8.492 DM
L	Erhalt Bau 1% von G	887 DM	974 DM	1.443 DM
M	Erhalt Technik 4 % von H	1.659 DM	1.834 DM	2.718 DM
N	Versicherung 0,2 % von A	261 DM	286 DM	425 DM
O	Lohn 25 DM x 166 Akh	3.925 DM	5.450 DM	11.875 DM
P	Zündöl (0,40 DM/l)	1.025 DM	1.523 DM	4.185 DM
Q	Betriebskosten mit Förderung	19.153 DM	24.952 DM	43.300 DM

Abbildung 46: Datenbasis für Schwermetallgehalte von Substraten Und Kofermenten (KTBL 1999, KÜBLER ET AL. 2000, FIW 2000)

Schwermetalle in mg/kg TS	Grenzwerte KlärschlammV	Klärschlamm (Düsseldorf-Süd)	Grenzwerte der BioabfallV	Fettabscheider	Fritieröl	Gehärtetes Fett	Homogen. Lebensmittel
Quecksilber	8,00	2,19	1,00	0,04	0,05	< 0,05	< 0,1
Blei	900,00	140,70	150,00	4,30	< 4,5	< 4,5	< 5,0
Chrom	900,00	73,80	100,00	32,00	k.A.	k.A.	< 5,0
Cadmium	10,00	2,04	1,50	0,40	< 0,02	< 0,02	< 0,5
Kupfer	800,00	334,00	100,00	53,00	< 2,2	< 2,2	4,90
Nickel	200,00	52,90	50,00	16,00	< 2,2	< 2,2	< 5,0
Zink	2500,00	1484,00	400,00	400,00	0,05	< 0,05	< 0,1
Quelle/Zahl der Proben	(d)	(c) Jahresdurchschnitt	(d)	(a) Max. aus n = 6	(c) Mittelwert	(c) Mittelwert	(c) Mittelwert
Schwermetalle	Speiseabfall	Bioabfall	Obstfiltrat	Reste Pektinher.	Leinschrot	Bierfiltrat	Biertreber
Quecksilber	k.A.	k.A.	0,07	k.A.	0,10	0,01	0,10
Blei	10,00	149,00	17,80	4,00	4,00	10,10	5,20
Chrom	10,00	106,00	12,90	10,00	3,00	16,00	5,00
Cadmium	1,51	2,43	0,26	0,10	0,50	0,20	0,50
Kupfer	53,00	169,00	55,00	13,00	18,70	125,00	17,80
Nickel	6,00	47,00	9,20	4,00	4,00	10,00	5,00
Zink	282,00	680,00	19,00	20,00	68,50	42,00	91,90
Quelle/Zahl der Proben	(b) Max.	(a) n = 1	(a) Max. aus n = 12	(a) Max. aus n = 3	(a) Mittelwert	(a) Max. aus n = 17	(a) Max. aus n = 3
Schwermetalle	Maispflanze	Gemüse/Obstbrei	Gemüseabfälle	Getreideabfall	Grünschnitt	Laubblätter	Werte aus den Quellen: (a) KTBL 1999 (b) Kübler et al. 2000 (c) FIW 2000 (d) Bundesgesetzblatt
Quecksilber	k.A.	0,01	k.A.	k.A.	k.A.	0,10	
Blei	33,00	5,10	5,60	7,00	50,00	23,00	
Chrom	42,00	5,00	15,00	5,70	43,00	18,00	
Cadmium	0,40	0,29	1,10	0,20	2,00	0,30	
Kupfer	86,00	51,00	18,00	14,00	39,00	22,00	
Nickel	19,00	3,60	14,00	9,00	20,00	10,00	
Zink	70,00	200,00	94,00	80,00	100,00	401,00	
Quelle/Zahl der Proben	(a) Max. aus n = 5	(a) Max. aus n = 5	(a) Max. aus n = 4	(a) Max. aus n = 4	(a) Max. aus n = 12	(a) Max. aus n = 4	
Schwermetalle	Panseninhalt	Panseninhalt	Rinderbiogäsgülle	Rindergülle	Schweinegülle	Hühnergülle	
Quecksilber	k.A.	0,01	0,10	0,50	0,38	0,02	
Blei	2,80	10,00	12,00	29,00	8,10	8,80	
Chrom	7,30	10,00	54,00	61,00	31,00	9,70	
Cadmium	0,47	2,00	0,50	1,32	0,88	0,22	
Kupfer	33,00	19,00	73,00	116,00	452,00	47,00	
Nickel	3,80	7,00	7,00	26,00	16,80	11,00	
Zink	197,00	92,00	424,00	355,00	1380,00	448,00	
Quelle/Zahl der Proben	(b) Max.	(a) Max. aus n = 11	(a) Max. aus n = 2	(a) Max. aus n = 160	(a) Max. aus n = 50	(a) Max. aus n = 6	