

P E R S P E K T I V E N   D E R  
B I O G A S E R Z E U G U N G

Herausgeber:    Dipl.-Ing. Holger Krawinkel

Institut Wohnen und Umwelt GmbH  
Annastraße 15  
6100 Darmstadt

Januar 1989

Schreibarbeiten: Gaby Kartscher-Geiß  
Ines Novak  
Gisela Spalt  
Birgit Weingärtner

Reprotechnik: Reda Hatteh

1. Auflage

Darmstadt im Januar 1989  
ISBN-Nr. 3 - 922653 - 88 - X

Institut Wohnen und Umwelt GmbH  
Annastraße 15  
6100 Darmstadt  
Tel.: 06151/2904-0

## PERSPEKTIVEN DER BIOGASERZEUGUNG

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung	1
1.1 Umwelt- und Energieprobleme im ländlichen Raum	1
1.2 Möglichkeiten der Biogaserzeugung in Hessen	5
2. Technologie der Biogasgemeinschaftsanlagen	9
2.1 Anlagentypen	9
2.2 Rohmaterial	10
2.3 Technische Komponenten von Biogasgemeinschaftsanlagen	14
2.3.1 Annahmestation	17
2.3.2 Vorbehälter	
2.3.3 Zwischenbehälter	19
2.3.4 Hygenisierungsbhälter	19
2.3.5 Fermenter	19
2.3.6 Wärmetauscher	20
2.3.7 Gasreinigung und Gaslager	21
2.3.8 Interne Wärmeerzeugung	24
2.3.9 Technischer Entwicklungsstand	25
2.4 Standortanforderungen	25
2.5 Gaserzeugung	26
2.6 Jahresschwankungen	30
2.7 Energieverwendung	31
2.8 Investitions- und Betriebskosten	32
2.8.1 Gesamte Anlagenkosten	32

2.8.2	Gasreinigung	35
2.8.3	Biogasanlage	36
2.8.4	Betrieb und Unterhaltung	38
2.8.5	Komprimierung des Gases	40
2.8.6	Gaskessel	41
2.8.7	Gasspeicher	42
2.8.8	Haltbarkeit	43
3.	Düngerhandhabung	45
3.1	Düngertransport	45
3.1.1	Gülletransport	46
3.1.2	Transport von Festmist	47
3.2	Güllelager	48
3.2.1	Zentrale Lager	49
3.2.2	Dezentrale Lager	49
3.3	Ladestation auf dem landwirtschaftlichen Betrieb	49
3.4	Ausbringung des Naturdungs	50
3.5	Erforderliche Daten	51
3.6	Kosten	56
3.6.1	Transport	56
3.6.2	Gemeinsame Güllelager	60
3.6.3	Beladestationen	61
3.6.4	Individuelle Güllelager	63
3.7	Kosten des Kunstdüngereinsatzes	64
4.	Erfahrungen mit Biogasgemeinschaftsanlagen in Dänemark	67
4.1	Anlage in Vester Hjemitslev	67
4.2	Anlage in Vegger	69

4.3	Anlage in Skovsgaard	70
4.4	Weiterentwicklung der Anlagen	71
4.5	Organisation der technologischen Weiterentwicklung	72
5.	Organisationsformen	75
6.	Rahmenbedingungen der Biogasnutzung in Dänemark	78
6.1	Rechtliche Grundlagen	78
6.2	Finanzielle Förderung	80
6.3	Weitere Förderungsaktivitäten	81

## **1. Einleitung**

### **1.1 Umweltprobleme und Energie im ländlichen Raum**

Die Umweltprobleme des ländlichen Raums werden nicht nur von der jeweiligen Art der Energienutzung, sondern auch durch bestimmte Arten der landwirtschaftlichen Nutzung des Bodens verursacht. Die intensive landwirtschaftliche Produktion belastet den Boden und trägt in der Folge auch zu einer Verunreinigung der Oberflächengewässer und des Grundwassers mit Salzen und organischen Stoffen bei. Die schädlichen Belastungen von Boden und Wasser werden vor allem durch die intensive Anwendung von Kunst- und Naturdüngern verursacht. In Regionen mit einer Häufung landwirtschaftlicher Betriebe, die im Verhältnis zur landwirtschaftlichen Nutzfläche einen sehr hohen Tierbestand aufweisen (Massentierhaltung), entstehen besondere Probleme durch die Ausbringung der anfallenden Gülle. Vergleichbare Probleme liegen auch in Gebieten mit besonderen Boden- bzw. Grundwasserverhältnissen und in der Nähe von Trinkwassergewinnungsanlagen vor.

Im Hinblick auf die eingesetzten Primärenergieträger bestehen im ländlichen Raum Probleme aufgrund der großen Abhängigkeit von der Erdölversorgung. Die durch einen hohen Erdölanteil geprägte ländliche Energieversorgungsstruktur wird den Zielen einer auch langfristig sicheren und preisgünstigen Energiebedarfsdeckung kaum gerecht.

Die Situation könnte angebotsseitig durch eine größere Vielfalt der zur Verfügung stehenden Energieträger verbessert werden. Hier bieten sich zunächst mehrere Energieträger an. Bei einem Ausbau der individuellen Erdgasversorgung können unabhängig von der Frage der Wirtschaftlichkeit in dünn besiedelten Gebieten bereits mittelfristig ähnliche Probleme wie bei der Erdölversorgung auftreten. Eine weitere Ausbreitung von Elektrizität im Wärmemarkt des ländlichen Raums ist aus Umweltgründen umstritten, da lediglich Immissions-

quellen zu den Kraftwerken verlagert werden und der Primärenergiebedarf im Verhältnis zur Nutzenergie sehr hoch ist. Eine andere Frage ist, ob durch Stromwärme mittel- und langfristig das Ziel der Preisgünstigkeit zu erfüllen ist. Mit der Nutzung der regionseigenen Energieträger bieten sich Lösungen an, die unter Umständen auch zur Verbesserung der regionalwirtschaftlichen Situation beitragen.

Auch nachfrageseitig könnte die Reduzierung der Erdölabhängigkeit durch Bemühungen um eine verstärkte Energieeinsparung erreicht werden. Gerade im Hinblick auf die Siedlungsstruktur des ländlichen Raums ist eine Förderung des Energiesparens eine vorrangig zu verfolgende Maßnahme. Die Technologien des Energiesparens sind bekannt und viele von ihnen sind im Gegensatz zu den meisten erneuerbaren Energieträgern bereits heute unter den gegebenen Energiepreisen wirtschaftlich. Zur Aktivierung des Einsparpotentials in den privaten Haushalten und in den landwirtschaftlichen Betrieben wäre es erforderlich, ein umfassendes Beratungssystem aufzubauen, das auf die individuellen Entscheidungsstrukturen und -spielräume der einzelnen Wirtschaftseinheiten zugeschnitten ist. Dabei sollte beachtet werden, die bei der Beratung anfallenden Informationskosten niedrig zu halten.

Auch die Maßnahmen des Energiesparens können positive Auswirkungen auf die regionale Wirtschaftsstruktur haben, da hier insbesondere das örtliche bzw. regionale Handwerk gefordert ist. Es soll aber im Rahmen dieses Berichtes auf solche, grundsätzlich vorrangig zu verfolgenden Maßnahmen nur am Rande eingegangen werden.

Die Technologie der Nutzung feuchter Biomasse ist noch nicht ausgereift. Eine in sich geschlossene Strategie zur technologischen Weiterentwicklung von Biogasanlagen hat in der Bundesrepublik bisher nicht stattgefunden. Es soll daher im Rahmen dieses Berichts auf die in der Bundesrepublik betriebenen Anlagen und der hierbei angewendeten Technologien nicht

näher eingegangen werden. Der Schwerpunkt des Berichts liegt auf der Darstellung der Entwicklung von Technologie und Konzeption von Biogasgemeinschaftsanlagen, die im Rahmen eines besonderen Förderungsprogramms in Dänemark vorangetrieben wurde.

Die Umweltprobleme bei der Anwendung von tierischen Exkrementen in Form von Festmist, Jauche oder Gülle als Naturdünger entstehen dadurch, daß die Feldfrüchte nicht zu jeder Jahreszeit in der Lage sind, die in den Naturdüngern enthaltenen Nährstoffe vollständig aufzunehmen. Dies bedeutet bei Ausbringung von beispielsweise Gülle außerhalb der Wachstumsperiode, daß ein Großteil der Nährstoffe aus dem Boden ausgewaschen und direkt in das Grundwasser bzw. in Oberflächengewässer abgeleitet wird. Erschwert wird ein umweltgerechter Einsatz von Naturdüngern durch die ätzende Wirkung vor allem der festeren Bestandteile des Naturdüngers. Dadurch kann eine Ausbringung gerade in den Wachstumsphasen, in denen die Pflanzen die enthaltenen Nährstoffe in besonders hohem Maße aufnehmen können, nicht bzw. nur in geringerem Umfang erfolgen.

Ein weiteres Problem bei der Anwendung von Naturdüngern besteht darin, daß landwirtschaftliche Betriebe im Verhältnis zu ihrem Viehbestand eine zu geringe landwirtschaftliche Fläche zur Verfügung haben, bezogen auf eine Flächeneinheit nicht zu viel Naturdünger auszubringen. Dieses Problem betrifft Gebiete mit intensiver landwirtschaftlicher Viehhaltung selbstverständlich stärker als Gebiete mit einer extensiveren landwirtschaftlichen Produktion wie z.B. in Hessen.

Die Steigerung der Lagerkapazität für Naturdünger alleine reicht nicht aus, um alle angesprochenen Probleme lösen zu können. So wird durch die Schaffung von Lagerkapazitäten das Problem der Ätzwirkung unbehandelter Gülle nicht gelöst. Es

wird auch kein Ausgleich zwischen den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieben geschaffen, um eine größere Übereinstimmung zwischen Nutztierhaltung und der insgesamt zur Verfügung stehenden wirtschaftlichen Nutzfläche zu erreichen.

Soll aber nun eine Gülleumverteilung stattfinden, stellt sich das Problem der Übertragbarkeit ansteckender Krankheiten usw. von einem landwirtschaftlichen Betrieb zum anderen. Zur Vermeidung der Ätzwirkung und zur Verbesserung des hygienischen Zustandes des Naturdüngers dient eine Behandlung der Gülle in einer Biogasanlage. Auch in Gebieten mit einer weniger intensiven tierischen Produktion haben Biogaseinrichtungen gegenüber Einzelanlagen den Vorteil, die Flexibilität der einzelnen landwirtschaftlichen Betriebe zu erhöhen. Dies bedeutet, daß der Viehbestand ohne Fehlinvestitionen in Lagerkapazitäten erhöht oder vermindert werden kann. Außerdem können beim Bau von Gemeinschaftslagern in Feldlage sowohl Investitionskosten durch Kostendegression bei größeren Einrichtungen als auch Transportkosten eingespart werden.

Bei Einzelanlagen entstehen in der Regel Schwierigkeiten, die Gasproduktion und den Wärmebedarf aufeinander optimal abzustimmen. Soll die gesamte, im Jahresverlauf relativ gleichmäßig verlaufende Gaserzeugung genutzt werden, muß die Biogasanlage so dimensioniert werden, daß im Winter zusätzliche Energieträger eingesetzt werden. Soll der gesamte Wärmebedarf im Winter gedeckt werden, kann im Sommer entweder ein Großteil des gewonnenen Gases nicht zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Dies kommt einer Überdimensionierung der Anlage gleich. Eine weitere Schwierigkeit besteht in der Verfügbarkeit technisch ausgereifter und kostengünstiger Aggregate in der Größenordnung, die Biogaseinrichtungen erfordern würden.

## 1.2 Möglichkeiten der Biogaserzeugung in Hessen

Die Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse wurden auch in Hessen analysiert. Der Ausgangspunkt vieler Untersuchungen lag in der Zeit der hohen Ölpreise, was natürlich nicht ohne Auswirkungen auf die jeweils zugrundegelegten technischen Konzeptionen blieb.

Mit dem dramatischen Preisverfall des Erdöls und in dessen Folge auch anderer fossiler Energieträger wurde die Wirtschaftlichkeit fast aller Projekte, die Biomasse als Energieträger nutzen sollen, in Frage gestellt. Dies hat im übrigen auch eine Zwischenbilanz der hessischen Biomasseprojekte bestätigt. Die jeweiligen Gasgestehungskosten bzw. erzielbaren Wärmepreise liegen etwa um den Faktor 2 höher als es das derzeitige Energiepreisniveau zuläßt.

Selbst bei "optimistischen" Annahmen bezüglich der künftigen Energiepreisentwicklung bleibt ein wirtschaftlicher Betrieb solcher Anlagen bisher zweifelhaft. Gewisse Verbesserungen werden aber von der geplanten Heizölsteuererhöhung zu erwarten sein. Wird aus Biomassen Gas gewonnen, das sich auch zur Stromerzeugung eignet, können bei gemeinsamer Strom- und Wärmeproduktion günstigere Voraussetzungen für die Wirtschaftlichkeit vorliegen, wenn z.B. Erdgas als Energieträger nicht zur Verfügung steht.

Die wirtschaftlichen Probleme bedingen, daß eine technologische Entwicklung auf dem Gebiet der Biomassenutzung aufgrund höchst unsicherer Markterwartungen nur sehr begrenzt stattfindet. Die fehlende technologische Entwicklung bedeutet wiederum, daß Kostenersparnisse und somit Verbesserungen in der Wirtschaftlichkeit nicht erzielt werden können. Angesichts dieser Situation ist es durchaus berechtigt, von einem Teufelskreis zu sprechen, dem die Technologien zur

Nutzung erneuerbarer Energien ohne weitere Anstöße kaum entzogen werden können.

Ein möglicher Anstoß könnte aus dem Bereich der Entwicklung integrierter Abfallentsorgungskonzepte kommen. Die Gewinnung von Energie als Nebenprodukt aus Abfallbeseitigungs- bzw. Abfallreinigungsanlagen sind bereits bekannt. Besonders häufig vorzufinden ist die Klärgas- und die Deponiegasgewinnung.

Eine Herangehensweise, die die Energiegewinnung als Nebenprodukt von Abfallentsorgungs-, -verwertungs- oder -reinigungsanlagen auffaßt, verändert natürlich auch die Konzeption und die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen dieser Anlagen. Im Vordergrund der dann anzustellenden Überlegungen stünde nicht mehr der Prozeß der Energiegewinnung, sondern die jeweilige Maßnahme der Umweltvorsorge.

In Hessen werden zur Zeit an drei Standorten Biogasprojekte untersucht:

- Schwalmtal-Hopfgarten im Vogelsbergkreis zur Versorgung einer Tierkörperverwertungsanlage;
- Pohlheim im Landkreis Giessen zur Versorgung mehrerer öffentlicher Gebäude sowie
- Groß-Umstadt im Landkreis Darmstadt-Dieburg zur Versorgung des Kreiskrankenhauses.

Bei der Biogaserzeugung geht es nicht nur darum, aus dem tierischen Abfällen Methan zu gewinnen, also Energie zur Wärme- bzw. Stromerzeugung nutzbar zu machen, sondern auch um Umweltverbesserungen etwa durch Verminderung der Nitratbelastung des Bodens und der Gewässer. Die Nitratbelastung des Trinkwassers ist auch in Hessen in mehreren Gemeinden zu einem Problem geworden. Die Kosten der sogenannten Denitrifikation betragen bei großen Wasseraufbereitungsanlagen etwa 50 - 70 Pf/m<sup>3</sup> Wasser.

Schließlich besteht die Möglichkeit des Ersatzes von Kunstdünger durch die in einer Biogasanlage behandelte Gülle. Der Wert der in einem Kubikmeter Gülle enthaltenen Mineralstoffe beträgt etwa 15 - 20 DM, wovon in Abhängigkeit von Ausbringungstechnik und -zeitpunkt allerdings nur die Hälfte angerechnet werden kann.

Ein wirtschaftlicher Betrieb ist - wenn überhaupt - nur bei landwirtschaftlichen Strukturen möglich, die sich insbesondere in einer hohen Viehdichte, bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche, darstellen. Die Notwendigkeit hoher Viehdichten ergibt sich aus der Tatsache, daß der Energiegehalt der zu transportierenden Gülle durch den hohen Wasseranteil sehr gering ist. Der Wert, der von einem Tanklastzug transportierbaren Gülle mit einem Ladevolumen von etwa 25 Tonnen beträgt bei einem Gaspreis von etwa 25 Pf/m<sup>3</sup> etwa 100 DM.

Die Voraussetzungen für die Errichtung einer großen Zahl von Biogasanlagen scheinen unter diesem Blickwinkel in Hessen nicht sehr günstig zu sein, da eine entsprechend hohe Viehdichte nur in Ausnahmefällen gegeben ist. Allerdings gibt es Gemeinden bzw. Regionen in Hessen, in denen die notwendigen Viehdichten anzutreffen sind. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die Notwendigkeit einer Abstimmung von Vorschriften bzw. Zuschußvergaben bezüglich der Schaffung von Güllelagern.

Darüber hinaus gibt es zwischenzeitlich technologische Alternativen bei der Entsorgung der organischen Hausmüllfraktionen, des Klärschlammes usw., die auch eine Kombination mit der Behandlung landwirtschaftlicher Abfälle erlauben. Da es hier insbesondere im Bereich der organischen Hausmüllfraktionen durchaus wirtschaftliche Perspektiven gibt, macht ein einfaches Zahlenbeispiel deutlich: Die Deponiekosten betragen zur Zeit in günstigen Fällen zwischen 20 und 40 DM/t. Der

Wert des Energiegehaltes einer Tonne organischen Hausmülls liegt etwa bei dem genannten Gaspreis von 25 Pf/m<sup>3</sup> in der gleichen Größenordnung. Weil Deponieflächen knapp werden bzw. um Deponiekosten zu sparen, werden zwar vielerorts Kompostierungsanlagen errichtet, die in der Regel jedoch den energetischen Gehalt des Hausmülls nicht nutzen.

Bei der Nutzung des Energiegehalts des organischen Hausmülls ergeben sich unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Abfall- bzw. Reststoffen. Zum einen ist es möglich, Biogasanlagen, die landwirtschaftliche Abfälle vergären, zusätzlich mit organischem Hausmüll oder anderen organischen Abfällen wie bzw. Gras, Altfette oder Blut usw. zu beschicken. Dadurch könnte einerseits die Abfallmenge reduziert und andererseits die Gasproduktion erhöht werden. Dieses Verfahren stößt aber bei Hinzugabe bestimmter Abfallstoffe unter Umständen auf Bedenken seitens der Landwirtschaft, da befürchtet wird, daß zum Beispiel die organischen Hausmüllfraktionen mit anderen schädlichen Stoffen verunreinigt sein könnten. Die gleichen Bedenken gelten in viel größerem Umfang bei der gemeinsamen Vergärung von Gülle und Klärschlamm.

## 2. Technologie der Biogaseinschaftsanlagen/<sup>1/</sup>

### 2.1 Anlagentypen

Eine Biogaseinschaftsanlage erzeugt Biogas durch Vergärung von organischem Material. Das organische Material, das hauptsächlich aus Gülle und Festmist von landwirtschaftlichen Betrieben stammt, kann durch organische Abfälle aus Kläranlagen, Schlachthöfen und anderen Betrieben aus der näheren Umgebung ergänzt werden.

Die dänischen Biogaseinschaftsanlagen verfügen i.d.R. über eine Kapazität von etwa 30-500 Tonnen zugeführtes Rohmaterial täglich. Daraus ergibt sich eine Gaserzeugungskapazität von etwa 0,1-3 MW.

Bisher wurden vor allem zwei Haupttypen von Anlagen errichtet:

- a) Kontinuierliche Anlagen mit voll durchmischten Fermentern für eine mesophile Behandlung der Gülle und einer thermophilen Vorbehandlung.
- b) Kontinuierliche Anlagen mit voll durchmischten Fermentern für eine thermophile Behandlung der Gülle.

Die bisher errichteten Anlagen (siehe Abschnitt 4) weisen z.T. unterschiedliche Ausstattungen auf.

---

<sup>1/</sup> Die in den Abschnitten 2 und 3 enthaltenen Tabellen und Abbildungen sind im wesentlichen dem dänischen Versorgungskatalog, Ausgabe 1988/89 entnommen.

## 2.2 Rohmaterial

Als Rohmaterial für die Biogaserzeugung können die meisten organischen Abfälle mit einem Trockensubstanzanteil (TS) von 2-25 % im Gemisch verwendet werden. Organischer Abfall, der technisch durch Verbrennungsprozesse zur Energieerzeugung genutzt werden kann, eignet sich weniger zur Vergärung in einer Biogasanlage (z.B. Stroh).

Auf der anderen Seite ist es wichtig, der Biogasanlage Rohmaterial mit einem möglichst hohen organischen Stoffanteil zuzuführen. In der Regel bewegt sich das der Biogasanlage zugeführte Rohmaterial in einem Bereich von 5-15 % Trockensubstanzanteil. In Tabelle 1 sind die Wirtschaftsdüngermengen von verschiedenen Nutztieren angegeben. Die in der Tabelle angegebenen Zahlen sind nicht auf die in Deutschland gebräuchlichen Großvieheinheiten (GVE) umgerechnet. Die hier vorliegenden Angaben sind für die Berechnung von Biogasgemeinschaftsanlagen geeigneter, da sie die verschiedenen Stallkonstruktionen berücksichtigen.

Die Mengenangaben gelten für die jeweiligen Stallplätze mit Ausnahme von Mastkälbern, Mastschwein und Masthähnchen, bei denen sich die Angaben auf die tatsächlich erzeugte Einheit bezieht. Bei Pelztieren sind die Angaben auf die erzeugten Felle bezogen.

Sind nur die Stallplätze bekannt, wird ein Stallplatz mit 3,3 erzeugten Mastschweinen pro Jahr bzw. 6,5 erzeugten Masthähnchen pro Jahr umgerechnet. Die genannten Zahlen sind Mittelwerte.

Die Bezeichnung Jahreszucht deckt nicht alle erwachsenen Tiere ab. Er stellt somit einen Mittelwert dar.

Tabelle 1: Jährliche Düngermengen ab Stall incl. Einstreu und übliche Wassermengen

Haustierart	Dungart	Menge (t)	TS		VS(OTS)7)		kg. pr. t Dünger		
			(%)	(t)	(%)	(t)	N	P	K
Jahresmilchkuh	Gülle <sup>1)</sup>	18,5	10,6	1,97	0,8	1,58	5,7	0,8	5,5
	Festmist	11,5	17,5	2,01	0,8	1,61	5,7	1,2	4,5
Jahresrind	Gülle <sup>2)</sup>	6,4	9,2	0,59	0,8	0,47	6,1	0,8	6,2
	Festmist	3,9	20,6	0,80	0,8	0,64	6,4	1,3	7,4
Mastkälber	Gülle	2,7	8,9	0,24	0,8	0,19	6,3	1,2	2,9
	Festmist	1,8	20,0	0,36	0,8	0,29	7,2	1,9	4,3
Mastkälber	Gülle	7,7	9,6	0,74	0,8	0,59	4,9	1,2	3,9
	Festmist	5,5	20,9	1,15	0,8	0,92	5,5	1,7	5,0
Jahressau mit Ferkeln	Gülle <sup>4)</sup>	6,1	8,0	0,49	0,8	0,39	5,8	1,7	2,9
	Festmist	3,6	30,1	1,08	0,8	0,86	7,9	2,2	6,4
10 Mast- schweine <sup>5)</sup>	Gülle <sup>4)</sup>	5,4	6,9	0,37	0,8	0,30	6,8	1,6	3,3
	Festmist	3,4	27,0	0,92	0,8	0,74	8,2	2,0	6,3
100 Hühner auf Gitterboden	Festmist	2,4	39,0	0,94	0,8	0,75	14,8	10,9	10,7
	Festmist	2,3	71,0	1,65	0,8	1,32	21,7	15,8	16,3
1000 Mast- hähnchen <sup>6)</sup>	Festmist	1,19	57,4	0,68	0,8	0,54	21,9	13,5	16,3
1000 Pelztiere	Festmist	22,0	20,8	4,58	0,8	3,66	9,0	16,0	3,0

1) 70 % Anbindestall; 30 % Boxenlaufstall

2) 40 % Anbindestall; 60 % Vollspaltenboden

3) 260 kg entspr. 245 Futtertagen; 450 kg entspr. 427 Futtertagen

4) je 50 % Gülleanlagen mit bzw. ohne Einstreu

5) 70 kg Zunahme, 100 Tage

6) Schlachtalter 40 Tage

7) Die in der Bundesrepublik verwendeten OTS-Werte (organische Trockensubstanz) liegen bis zu 20% niedriger

Bei Bullenkälbern, die zum Schlachten gemästet werden, beziehen sich die Angaben auf das produzierte Tier, da das Schlachtalter variieren kann. Es sind die jeweiligen Mengen für ein Schlachtalter von 245 bzw. 427 Futtertage angegeben. Ist das Schlachtalter unbekannt, können alle Jungtiere als Jahreszucht berechnet werden. Für Milchvieh beziehen sich die Mengen auf die große Rasse, da die Anzahl von Jerseykühen relativ gering ist. Die entsprechende Wirtschaftsdünger Menge für Jerseyrinder beträgt 90 % der angegebenen Mengen.

Die Wirtschaftsdüngermengen von Tieren, die sich im Sommer auf der Weide befinden, wird auf 80 % bei Milchvieh und auf 60 % bei Jahreszucht vermindert. Neben den Wirtschaftsdüngermengen sind die jeweiligen Trockensubstanzanteile (TS) und die sogenannten "volatile solids" (VS) angegeben. TS geht auf eine bestimmte Analyseverfahren zurück, bei der die Wirtschaftsdüngerprobe bei 105°C getrocknet wird (die übrig gebliebene Menge = Trockensubstanz). Danach wird diese Menge bei 575°C ausgeglüht (= Glühverlust = VS bzw. OTS (organische Trockensubstanz)). Die in der Bundesrepublik verwendete OTS-Werte liegen etwa 20% niedriger als die in Dänemark vorausgesetzten.

Die Tabellenwerte sind Erfahrungszahlen von Betrieben mit einer guten Wassersteuerung; da dies allerdings in der Bundesrepublik nicht immer zutrifft, liegen die TS- bzw. OTS-Werte z.T. geringer (s.o.). Der organische Trockensubstanzanteil und die Güllemengen sind jedoch von landwirtschaftlichem Betrieb zu landwirtschaftlichem Betrieb aufgrund der unterschiedlich zugesetzten Massemenge höchst verschieden. Dies bedeutet, daß ein Teil der landwirtschaftlichen Betriebe Gülle mit einem wesentlich geringeren Trockensubstanzanteil liefert. Es ist daher notwendig, die jeweiligen Anteile

konkret vor Ort zu messen. Eine solche ergänzende Untersuchung sollte jedoch erst in der Detailplanung erfolgen.

Anderes organisches Material wie Magen-Darminhalte aus Schlachtereien, Klärschlamm, organischer Hausmüll und organischer Industriemüll kann einer Biogasanlage zugeführt werden, wenn diese den anaeroben Prozess oder die technische Funktion der Anlage nicht beeinträchtigen, und eine Verunreinigung des Wirtschaftsdüngers durch Schwermetalle oder andere Chemikalien nicht zu befürchten ist. Tabelle 2 gibt die verschiedenen organischen Abfallstoffe und der jeweiligen Trockensubstanzanteile an.

Tabelle 2: Übersicht über wichtige organische Abfallstoffe, die in einer Biogasanlage verwendet werden können.

Abfallart (Herkunft)	TS %
Zentrifugenschlamm (Fermentierungsindustrie)	10
Magen- und Darminhalte (Schlachtereien)	20
Unverdünntes Fruchtwasser (Kartoffelindustrie)	5
Blanchierwasser (Kartoffelindustrie)	4-6
Blanchierwasser (Konservenindustrie)	3-5
Trester (Mostereien)	25

Im Fall der Zuführung anderer organischer Materialien als landwirtschaftlicher Fäkalien sind die entsprechenden umweltrechtlichen Genehmigungen einzuholen. Eine solche Abfallverwertung erfordert darüber hinaus eine besondere Genehmigung der Biogasanlage nach dem Abfallgesetz.

### 2.3 Technische Komponenten von Biogasgemeinschaftsanlagen

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen Beispiele für die beiden genannten Typen von Biogasgemeinschaftsanlagen. Die jeweilige Anlagenkonzeption kann jedoch aufgrund örtlicher Besonderheiten abweichen. Bei beiden Anlagentypen wird Rohmaterial zu einer Annahmestation gebracht, die eine gleichbleibende Qualität des Rohmaterials sichert, bevor es den Fermentern zugeführt wird. Das Rohmaterial wird direkt von der Annahmestation zu einem Vorbehälter und danach weiter zur Erwärmung und Vergärung transportiert.

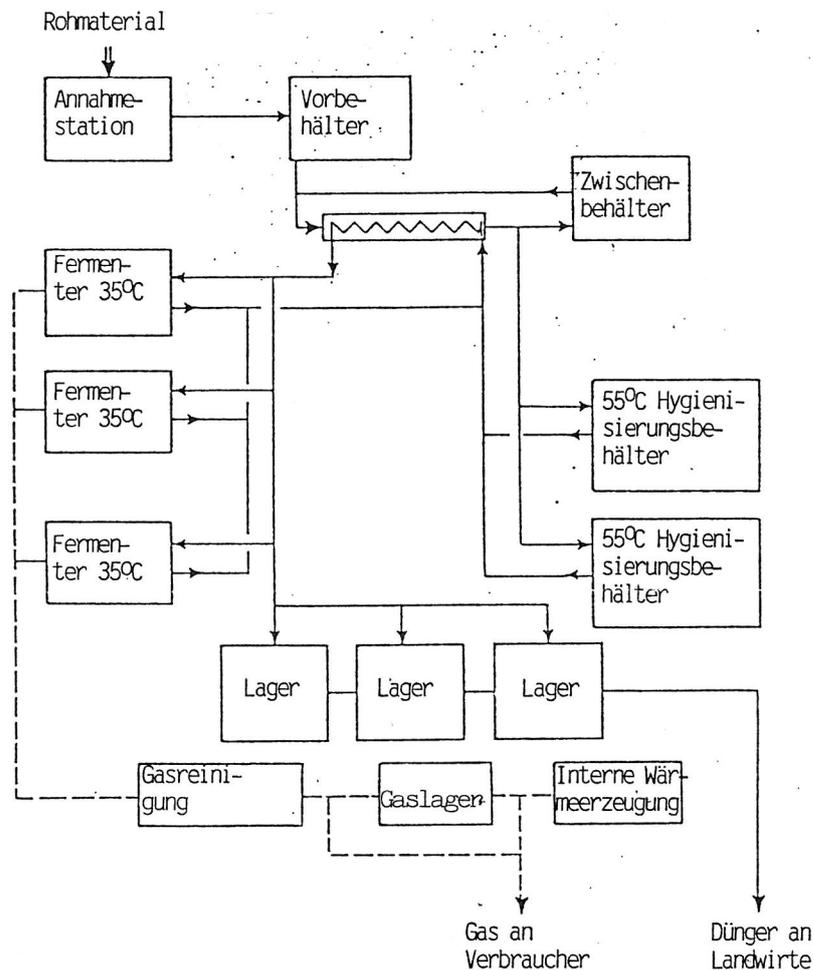
- a) Kontinuierliche Anlagen mit voll durchmischten Fermentern für eine mesophile Vergärung mit thermophiler Vorbehandlung

Der mesophile Prozeß mit einer Temperatur von 30-40°C erfordert eine ökonomisch optimale Aufenthaltsdauer zwischen 18 und 25 Tagen. Zur Planung wird eine Aufenthaltsdauer von 20 Tagen angenommen. Der anerobe Prozeß ist sehr stabil und das Anfahren verläuft in der Regel ohne besondere Probleme.

Die Hygienisierung des Dungs, d.h. die Vernichtung von Bakterien, Viren und anderen Krankheitsüberträgern im Naturdung vollzieht sich im mesophilen Prozeß langsamer als bei einer thermophilen Vergärung. Um einen bestimmten Hygienisierungsgrad zu erreichen kann eine thermophile Vor- oder Nachbehandlung der Gülle erforderlich sein. Alternativ hierzu besteht die Möglichkeit einer längeren Nachlagerung der entgasten Gülle. In den verschiedenen Biogasgemeinschaftsanlagen hat man eine Aufenthaltsdauer von 4-6 Stunden unter thermophilem Temperaturniveau gewählt.

Dieser Anlagentyp kann für alle Rohmaterialien verwendet werden.

Abbildung 1: Kontinuierliche Anlage mit volldurchmischten Fermentern für mesophile Vergärung mit thermophiler Vorbehandlung

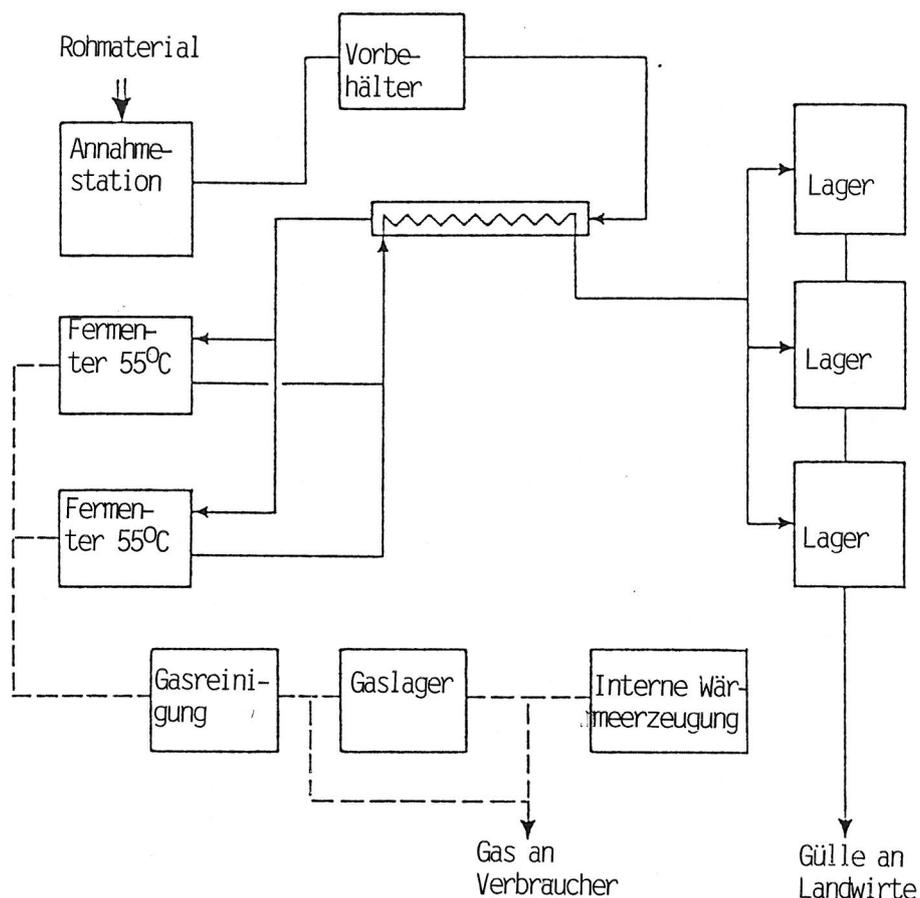


b) Kontinuierliche Anlage mit voll durchmischten Fermentern für eine thermophile Vergärung

Beim thermophilen Prozeß (Temperaturniveau 50-55°C) liegt die ökonomisch optimale Aufenthaltsdauer zwischen 7 und 12 Tagen. Zur Planung wird von einer Aufenthaltsdauer von 10 Tagen ausgegangen.

Der thermophile Prozeß ist infolge der höheren Prozeßgeschwindigkeit und einer geringeren Mikroflora sehr viel empfindlicher gegenüber Veränderungen der jeweiligen Prozeßparameter. Er erfordert deshalb eine höchst genaue Steuerung der Prozeßverhältnisse. Die Reaktion auf einen hemmenden Stoff geschieht daher wesentlich schneller. Wird die Mikroflora an einen bestimmten hemmenden Stoff gewöhnt, kann die Prozeßstabilität wiederum erhöht werden. Der thermophile Prozeß ist bei der Anwendung von reiner Schweinegülle problematisch, da durch den höheren Ammoniakinhalt der Gärprozeß gehemmt wird. Dieses Problem muß in der Praxis allerdings nicht vorkommen, wenn Gülle verschiedenen Ursprungs verwendet wird.

Abbildung 2: Kontinuierliche thermophile Anlage mit voll-durchmischten Fermentern



Wie aus den Abbildungen 2 und 3 hervorgeht bestehen die beiden Anlagenarten aus folgenden Komponenten:

- Annahmestation:

Bei Anlagen, denen nur pumpbares Rohmaterial zugeführt wird, besteht die Annahmestation nur aus einem Stellplatz für die Transportwagen und einem Rohranschluß.

- Vorbehälter:

Bei beiden Anlagentypen erforderlich.

- Zwischenbehälter:

Nur bei Anlagentyp A, soweit dort Wärmetauscher eingebaut werden.

- Hygienisierungsbehälter:

Nur bei Anlagentyp A.

- Fermenter (Gärbehälter):

Bei beiden Anlagentypen erforderlich.

- Wärmetauscher bzw. Heizung oder Wärmepumpe:

Für beide Anlagentypen erforderlich.

- Gasreinigung und Gasspeicher:

Für beide Anlagentypen erforderlich.

- Eigene Wärmeerzeugung oder Anschluß an Fernwärmeversorgung:

Bei beiden Anlagentypen erforderlich.

- Güllelager für das ausgegorene Material:

Bei beiden Anlagentypen erforderlich, konkrete Ausführung jedoch von der jeweiligen Konzeption abhängig (z. B. bei Errichtung von Lagerkapazitäten in den Feldfluren).

### 2.3.1 Annahmestation

Die Ausführung der Annahmestation richtet sich nach den jeweiligen Anforderungen, die sich aus den zugeführten Rohmaterialien ergeben. Bei Tierfäkalien als Rohmaterial bestehen die wesentlichen Anforderungen darin, beim Umladen bzw. Um-

pumpen Geruchsentwicklungen zu vermeiden, sowie die Mischung und ggfs. eine Zerkleinerung des Wirtschaftsdüngers und dessen Transport zum Vorbehälter vorzunehmen.

Um eine Geruchsentwicklung zu vermeiden, sollte die Entladung von Festmist in einer geschlossenen Halle erfolgen. Die Gülle wird vom Gülletransporter direkt durch einen Rohranschluß in den Mischbehälter abgepumpt. Festmist wird in der Ladehalle in eine Grube gekippt. Von der Grube wird der Festmist über eine Schnecke zum Mischbehälter gefördert. Der Mischbehälter hat ein Volumen, das etwa der 0,5 bis 1-fachen täglichen Zuführung entspricht. Der Mischbehälter ist nicht isoliert, aber mit Rührgeräten in Form von Propellern u. ä. ausgestattet. Von dem Mischbehälter wird die Gülle zum Vorbehälter gepumpt. Bei einer großen Menge von Festmist kann es von Vorteil sein, wenn das Rohmaterial zerkleinert wird, bevor es zum Vorbehälter geführt wird, die Zerkleinerung kann mit Hilfe eines Maserators durchgeführt werden. Zur Reinigung der Transportwagen wird eine Spülanlage errichtet. Die Güllewagen sind mit einem Spülsystem zur Innenreinigung der Tanks eingerichtet, die durch eine Schnellkupplung angeschlossen werden können. Container für Festmist werden mit einer gewöhnlichen Hochdruckspülung gereinigt.

### 2.3.2 Vorbehälter

Die Vorbehälter werden je nach der täglichen Fäkalienzufuhr dimensioniert. Sie sollen eine Größe haben, die der Zuführung von 5 - 7 Tagen entspricht. Der Vorbehälter wird ebenfalls mit Rührreinrichtungen in Form von Propellern ausgestattet, um die Bildung von Schwimmschichten und Sandablagerungen zu verhindern.

### **2.3.3 Zwischenbehälter**

Zwischenbehälter haben bei Anlagentyp A ein Volumen, das der Menge an Rohmaterial entspricht, die den Fermentern oder dem Hygienisierungsbehälter auf einmal zugeführt werden. Die Zwischenbehälter ermöglichen außerdem einen effektiven Wärmetausch in zwei Stufen zwischen eingehender und ausgehender Gülle. Wird der Behälter gleichzeitig zur Erwärmung bzw. zur Abkühlung in Verbindung mit einer Wärmepumpenanlage verwendet, müssen die notwendigen Wärme- bzw. Kühlanlagen vorgesehen werden. Der Behälter muß dann zur Reduzierung des Wärmeverlusts isoliert werden und mit Rührwerken ausgestattet werden.

### **2.3.4 Hygienisierungsbehälter**

Die Größe des Hygienisierungsbehälters ist abhängig von der gewünschten Aufenthaltszeit des Rohmaterials. Bei einer erforderlichen Aufenthaltsdauer von 6 Stunden sollte das Gesamtvolumen etwa  $\frac{2}{3}$  der täglichen Zufuhr an Rohmaterial entsprechen. Die Behälter müssen isoliert sein und mit Rührwerken ausgestattet sein, um die Gesamtmenge effektiv durchmischen zu können.

### **2.3.5 Fermenter**

Die Fermenter werden entsprechend der Aufenthaltsdauer für die jeweiligen Anlagentypen dimensioniert. In den meisten Fällen werden inzwischen verschiedene kleinere Fermenter anstelle von ein oder zwei großen Fermentern gewählt, um die Flexibilität der Anlage zu erhöhen. Die Fermenter können entweder aus gegossenen Betonteilen, Betonfertigteilen oder aus Stahl bestehen. Die Fermenter müssen isoliert sein und mit einer gasdichten Schicht beschichtet sein, damit das Gas

gesammelt und zur Gasreinigungsanlage gepumpt werden kann. Die Fermenter müssen außerdem mit einem effektiven Rührwerk und ggfs. mit einer Heizschlange zur Aufwärmung der Gülle versorgt sein. Diese Erwärmung kann jedoch auch mit externen Wärmetauschern vorgenommen werden.

### 2.3.6 Wärmetauscher

Wärmetauscher ermöglichen den Austausch von Wärme zwischen dem erwärmten Material, das von den Fermentern zu den Lagerbehältern transportiert wird mit dem frischen Material, das auf 55°C erwärmt werden soll (35°C, wenn Anlagentyp A mit einer Nachlagerung ausgeführt wird).

Wenn Anlagentyp A mit einer thermophilen Vorbehandlung ausgestattet ist, vollzieht sich der Wärmetausch in 2 Stufen. In der ersten Stufe wird die Wärme zwischen dem vergorenen 35°C warmen Rohmaterial und dem frischen Rohmaterial vorgenommen. Das frische Material wird zum Zwischenbehälter geführt, während das vergorene Material zum Güllelager transportiert wird. In der zweiten Stufe wird das frische Material mit dem 55°C warmen Material erwärmt, das vom Hygienisierungsbehälter zum Fermenter geführt wird. Das frische Material wird dabei zum Hygienisierungsbehälter transportiert. Bei diesem 2-stufigen Wärmetausch wird eine effektive Wärmerückgewinnung aus der entgasten Gülle erzielt. Anstelle der Wärmetauscher kann eine Wärmerückgewinnung mit Hilfe einer Wärmepumpe eingesetzt werden. Zum Betrieb einer Wärmepumpe ist die Errichtung eines Zwischenbehälters zur Erwärmung der frischen Gülle sowie ein Zwischentank zur Abkühlung der behandelten Gülle erforderlich. Mit einer Wärmepumpe kann das entgaste Material bis auf 5°C abgekühlt werden.

2.3.7 Gasreinigung und Gaslager

Gasreinigung und Gasspeicher sind abhängig von der Anwendung des Gases. In Tabelle 3 sind die Reinigungsstufen angegeben, die erforderlich bzw. empfohlen sind für die verschiedenen Gasanwendungen, wie sie in Dänemark z. Zt. erprobt werden. Für die Bundesrepublik gibt es hier noch keine allgemein gültigen Vorschriften. Das Gas soll unabhängig von der jeweiligen Anwendung auch von Staubpartikeln gereinigt und getrocknet werden, so daß eine Bildung von Schmutzschichten bzw. eine Kondensatausscheidung in den Rohrleitungen und Installationen vermieden werden kann.

Tabelle 3: Empfohlene und erforderliche Gasreinigungsstufen

Anwendungsform	Reinigungsstufe		
	Ammoniak 1)	Schwefel- wasserstoff	Kohlen- dioxid
Industriekunden*	(x)	(x)	
Fernheizwerk			
Blockheizkraftwerk	(x)	(x)	
Haushalte über Biogasnetz	x	x	
Haushalte über Erdgasnetz	x	x	x

\* Anwendbarkeit von Biogas abhängig von Gasqualität und Anwendungszwecken

x unbedingt erforderlich

(x) empfohlen

1) tritt bei Rinder- und Schweinegülle kaum auf

Die verschiedenen Methoden zur Entfernung von Schwefelwasserstoff aus dem Biogas können in feuchte und trockene Prozesse unterschieden werden. Die Prinzipien sind in Tabelle 4 skizziert.

Tabelle 4: Übersicht über verschiedene Arten der H<sub>2</sub>S-Reinigung

Prozeßart	Chemisch-Physikalisches Prinzip	Verwendete Stoffe	Reststoffe
<u>Naßreinigung</u>			
Physikalische Reinigung	Absorption in geeigneter Flüssigkeit. Desorption durch Druck- bzw. Temperaturwechsel	Wasser, Serexol	H <sub>2</sub> S-reiches Gas
Physikalisch-chemische Reinigung	Bindung von H <sub>2</sub> S in einer alkalisch reagierenden Lösung. Thermische Desorption	Sulfinol	H <sub>2</sub> S-reiches Gas
	H <sub>2</sub> S-Reinigung durch Salzbindung in einer alkalischen Lösung und	Kalikarbonat (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	H <sub>2</sub> S-reiches Gas
Chemische Reinigung	H <sub>2</sub> S-Reinigung durch chemische Bindung ohne Weiterverwendung der Absorptionsflüssigkeit	NaOH	Na <sub>2</sub> S
	H <sub>2</sub> S-Reinigung durch Oxidation	Sulfit, Stretford	S
<u>Trockenreinigung</u>			
Adsorption	Adsorption und "Siebung" mit Aktivkohle	Aktivkohle	H <sub>2</sub> S-reiches Gas
Adsorption und chemische Reaktion	Chemische Umwandlung mit ZnO	ZnO	ZnS
Adsorption und Oxidation	Umwandlung von H <sub>2</sub> S mit Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zu Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> und Oxidation von Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> zu Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> und S	Ockererz	S/ Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
	Oxidation von H <sub>2</sub> S zu S unter katalytischer Einwirkung von Aktivkohle	Aktivkohle	S
	Separation über die unterschiedliche Molekülgröße	Membranseparation	H <sub>2</sub> S-reiches Gas

Prozesse, bei denen giftige Schwefelwasserstoffe als Restprodukte entstehen, sind weniger geeignet, da sie einen weiteren Prozeß erfordern, bei dem Schwefelwasserstoff in ungiftigere

Elemente wie Schwefel oder Schwefelsäure umgewandelt werden, aus denen dann allerdings wieder Schwefeldioxid entstehen kann.

Die Prinzipien der CO<sub>2</sub>-Entfernung sind in Tabelle 5 skizziert. Im Unterschied zu H<sub>2</sub>S ist CO<sub>2</sub> ungiftig und kann als Restprodukt direkt an die Atmosphäre abgegeben werden. Welche der Prozesse gewählt werden, ist abhängig von der H<sub>2</sub>S und der CO<sub>2</sub>-Konzentration, der Gasmenge dem Druck der Temperatur und dem geforderten Reinigungsgrad.

Tabelle 5: Übersicht über einige Methoden der CO<sub>2</sub>-Entfernung

Prozeßart	Chemisch-Physikalisches Prinzip	Verwendeter Stoff	Reststoff
<u>Naßreinigung</u>			
Physikalische Reinigung	Absorption in geeigneter Flüssigkeit. Desorption durch Druck- bzw. Temperaturwechsel	Wasser, Serexol	CO <sub>2</sub> -reiches Gas
Physikalisch-chemische Reinigung	Bindung von CO <sub>2</sub> mit einer alkalisch reagierenden Lösung. Thermische Desorption	Sulfinol	CO <sub>2</sub> -reiches Gas
Chemische Reinigung	CO <sub>2</sub> -Reinigung durch Salzbindung in alkalischer Lösung.  Regeneration durch Erwärmung	Kalikarbonat (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	CO <sub>2</sub> -reiches Gas
<u>Trockenreinigung</u>			
Adsorption	Adsorption/Desorption durch Druckwechsel  Separation aufgrund der unterschiedlichen Molekülgrößen	Zeolitter, Kohlemoleküle  Membranseparation	CO <sub>2</sub> -reiches Gas  CO <sub>2</sub> -reiches Gas

Der Wasserinhalt des Gases kann durch 3 verschiedene Arten reduziert werden:

1. Absorbtion in wasserbindenden Flüssigkeiten
2. Absorbtion durch aktive feste Trockenmaterialien
3. Kondensation durch Kompression und/oder Kühlung.

Da es aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist, das Biogas saisonal zu lagern, wird der Gasspeicher ausschließlich zum Ausgleich von täglichen Produktionsschwankungen bzw. Verbrauchsschwankungen angelegt. Die Lagergröße entspricht etwa der halben bis ganzen täglichen Gasproduktionsmenge. Selbst wenn ein Tagesausgleich nicht notwendig ist, bleibt ein kleineres Gaslager trotzdem erforderlich (z.B. als Gasglocke mit 30 - 50 m<sup>2</sup>), um einen konstanten Druck im Gassystem sicherzustellen. Zudem ist meist ein Mindestvolumen für die Gaskompression, die Reinigungsanlage und die Heizanlage erforderlich. Das Gas kann in Behältern mit flexiblem Volumen wie Gasglocken oder Gastaschen, aber auch in Tanks mit einem festen Volumen und unterschiedlichen Drücken gelagert werden.

Bei größeren Volumen ist es oft vorteilhaft, einen kleineren Behälter mit flexiblem Volumen als Puffertank für die Gasreinigung mit einem eigentlichen Gasspeicher als Hochdrucktank zu kombinieren.

### 2.3.8 Interne Wärmeerzeugung

Ist ein Anschluß an ein Fernwärmenetz nicht möglich, wird eine eigene Wärmeerzeugung erforderlich. Zur Wärmeerzeugung kann entweder eine Kesselanlage mit der Möglichkeit zur Anwendung von anderen Brennstoffen in der Startphase oder ein Gasmotor verwendet werden. In diesem Fall kann gleichzeitig

Strom zur Deckung des Eigenbedarfs der Anlage für Pumpen und Rührwerke erzeugt werden.

### **2.3.9 Technischer Entwicklungsstand**

Ende 1988 waren in Dänemark insgesamt 6 Biogasgemeinschaftsanlagen in Betrieb. Die Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien werden in Dänemark in insgesamt 3 technologische Klassen eingeteilt (A = serienfertig, B = grundsätzlich ausgereift, C = im Erprobungsstadium).

Biogasgemeinschaftsanlagen des Anlagentyps A mit einer Größenordnung bis etwa 100 m<sup>3</sup> zugeführtes Rohmaterial am Tag liegt in Technologiekategorie B, während größere Anlagentypen sowie die Technologie der Anlagentypen B in Technologiekategorie C angesiedelt sind.

### **2.4 Standortanforderungen**

Die Standortwahl von Biogasgemeinschaftsanlagen ist einerseits von dem zur Verfügung stehenden organischen Material und andererseits von den Möglichkeiten zur Verwendung der erzeugten Energie (insbesondere der erzeugten Wärme) abhängig zu machen.

Da die Transportkosten des Rohmaterials relativ hoch sind, sollte der Standort der Biogasgemeinschaftsanlagen im Verhältnis zu den angelieferten Rohmaterialmengen so zentral wie möglich gewählt werden. Biogasanlagen führen oft zu größerem Schwerlastverkehrsaufkommen, können zu Geruchsbelästigungen führen und weisen relativ hohe Anlagenbestandteile (z. B. Behälter) auf. Diese Standortbedingungen müssen auf jeden Fall berücksichtigt werden.

Die notwendige Fläche für eine Biogaskommunalanlage hängt natürlich von der Größe der Anlage selbst ab. Abbildung 3 zeigt den Flächenbedarf in Abhängigkeit zu der Anlagengröße.

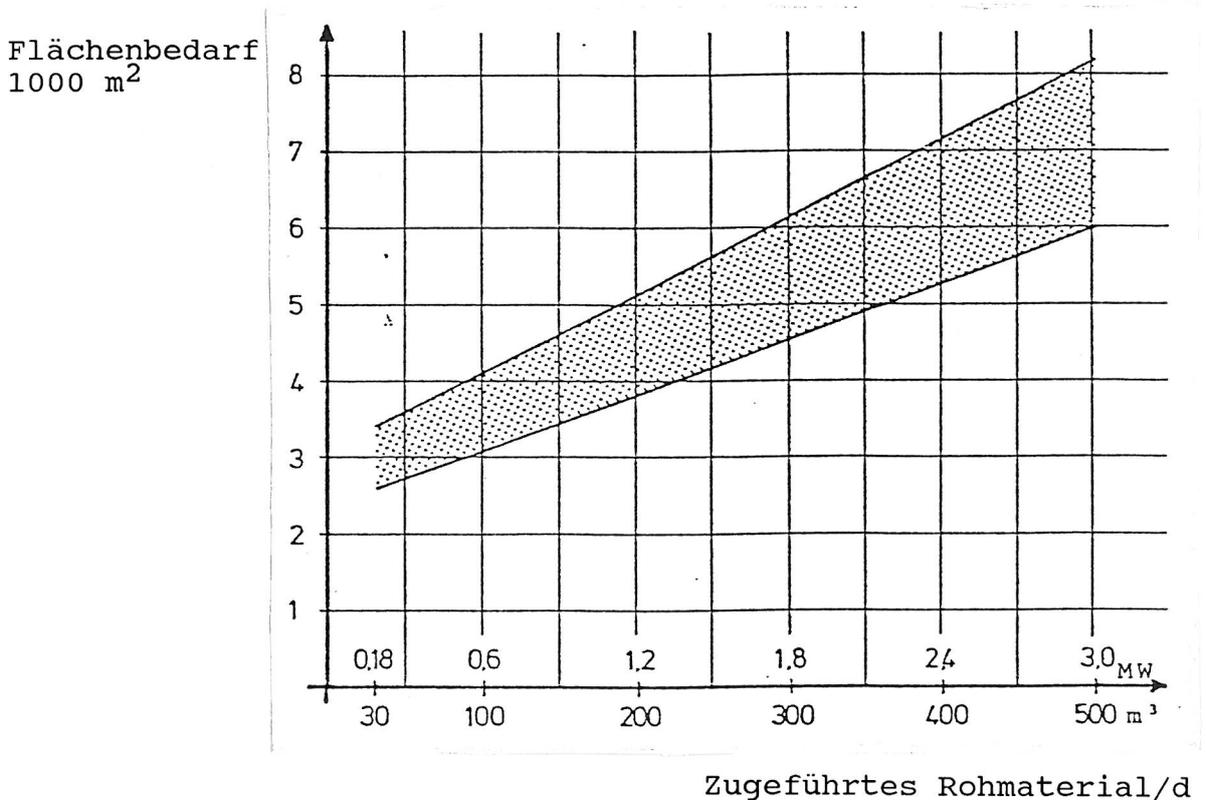


Abbildung 3: Flächenbedarf für die beiden Anlagentypen A und B

Die angegebenen Flächen umfassen alle Anlagenkomponenten, die in Abbildungen 2 und 3 gezeigt wurden, mit Ausnahme der Lager für die entgaste Gülle. Der Flächenbedarf ist auch abhängig von der Form des Grundstücks, da Abstandsverhältnisse einzuhalten sind, von den notwendigen Fahrbahnen und Parkplätzen. Der spezifische Flächenbedarf geht bei größeren Anlagen zurück.

## 2.5 Gaserzeugung

Wie bereits beschrieben, können einer Biogasgemeinschaftsanlage Rohmaterialien verschiedenster Art zugeführt werden. Abbildung 4 zeigt die Gaserzeugung eines gemischten Rinder- und Schweinedungs ( $\text{m}^3$  Biogas je kg organische Trockensubstanz;  $\text{m}^3/\text{kg}$  OTS). Der obere Rand des Kurvenbandes ist für einen Anteil von 40 % Rinderdung und 60 % Schweinedung berechnet. Der untere Rand gilt für eine Mischung aus 90 % Rinderdung und 10 % Schweinedung (jeweils bezogen auf die Dungmengen).

Bei der Berechnung der Gaserzeugung wird mit den Trockensubstanzgehalten in der Gülle und dem Festmist nach Tabelle 1 gerechnet. Die dort gezeigte Gasproduktion kann bei einem stabilen Betrieb der Biogasanlage erwartet werden. Die Gaserzeugung, die seitens der Herstellerfirmen garantiert wird, liegt um etwa 10 % geringer. In Abbildung 4 und Tabelle 5 wurde nur mit der Zuführung von Gülle gerechnet.

Die Daten für die Gasproduktion mit anderen Rohmaterialzusammensetzungen muß ggfs. durch Gärversuche im Labormaßstab im Einzelfall festgestellt werden. Schlachtereiabfälle ergeben jedoch eine ca. 20 % höhere Gasausbeute bezogen auf eine Einheit organischen Materials (kg OTS).

Gaserzeugung  
 $\text{m}^3$  Biogas/kg OTS (60 % Methan)

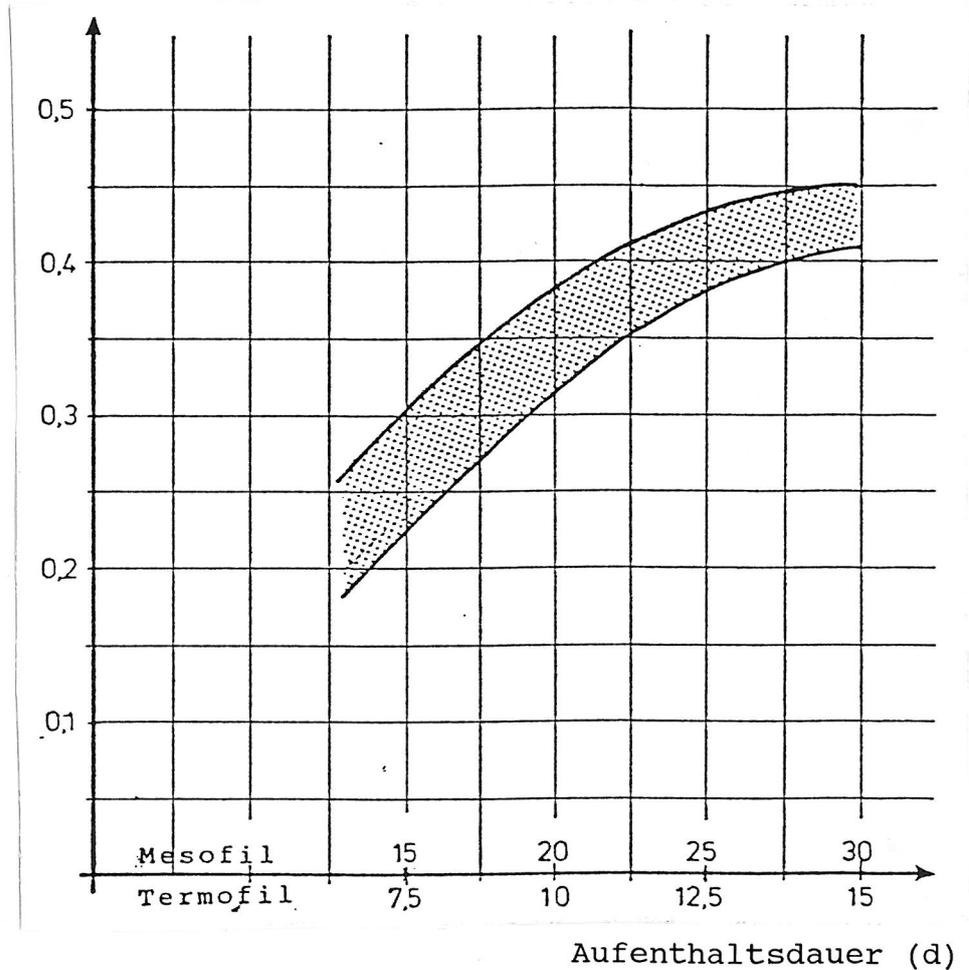


Abbildung 4: Die erwartete Bruttogasproduktion einer Biogasgemeinschaftsanlage

Energieinhalt

Biogas aus Naturdung hat in der Regel folgende Zusammensetzung:

- Methan ( $\text{CH}_4$ ) 55 - 70 %
- Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) 35 - 45 %
- Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) 0,1 - 0,5 %
- Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) Spurenelemente
- Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) Spurenelemente
- Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) Spurenelemente.

Eine Zusammensetzung mit einem Inhalt von 55 - 65 % CH<sub>4</sub> wird zu einem unteren Heizwert von 19,7 bis 22,3 MJ/Nm<sup>3</sup> führen. Methan hat einen unteren Heizwert von 35,9 MJ/Nm<sup>3</sup>.

Tabelle 5a: Spez. Biogaserzeugung in Abhängigkeit von Aufenthaltsdauer und Mischungsverhältnissen

Aufenthaltsdauer		Mischungsverhältnis			
		90% Rind 10% Schwein	40% Rind 60 % Schwein	100% Rind <sup>1)</sup>	100% Schwein <sup>1)</sup>
35°C	55°C	m <sup>3</sup> Gas/kg VS			
13	6,5	0,18	0,25	0,17	0,32
15	7,5	0,22	0,30	0,22	0,37
20	10,0	0,31	0,38	0,30	0,46
25	12,5	0,39	0,43	0,38	0,47
30	15,0	0,41	0,45	0,41	0,48

1) Werte für 100% Rinder- bzw. Schweinedung gelten nur für Anlagen mit Gülle und Festmist

Tabelle 6: Physikalische Eigenschaften von Biogas verglichen mit Erdgas, Methan und Flüssiggas

	Biogas <sup>1)</sup>	Erdgas <sup>2)</sup>	Methan	Flüssiggas <sup>3)</sup>
Spez. Gewicht kg/Nm <sup>3</sup>	0,89	0,68	0,56	1,52
Brennwert (Hu) (MJ/Nm <sup>3</sup> )	21,50	39,60	35,90	93,20
Wobbeindex (Wn)(MJ/m <sup>3</sup> )	24,7	48,0	47,8	75,6
Methanzahl <sup>4)</sup>	130,00	73,00	100,00	30,00
Wärmefülle <sup>5)</sup> (J/mol x K)	21,30	37,90	35,60	72,80

1) Biogas mit 60% Methan

2) Dänisches Erdgas

3) Propan

4) Die Methanzahl gibt die Zündfähigkeit von gasförmigen Brennstoffen an / entspricht der Oktanzahl bei flüssigen Brennstoffen

5) Bei 25°C und 1 atm

Bei Biogasanlagen, deren zugeführtes Rohmaterial stets gleiche Zusammensetzung aufweist, verändert sich die Gaszusammensetzung nur geringfügig, so daß der Methangehalt i.d.R. bei etwa 60 % liegt, was einem Brennwert von 21,5 MJ/Nm<sup>3</sup> entspricht. Bei zweistufigen Verfahren liegt der Methananteil grundsätzlich etwas höher. Prozeßenergiebedarf besteht für die Erwärmung der Gülle, für die Wärmeverluste, der Gärbehälter beim Transport sowie durch den Strombedarf für Pumpen und Rührwerke. Der Prozeßenergiebedarf für Biogasanlagen kann entweder durch den Anschluß an ein Fernwärmewerk oder durch Eigenproduktion mit einem Kessel oder einem Gasmotor gedeckt werden. Der Prozeßwärmebedarf ist in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7: Prozeßenergiebedarf für die beiden Anlagentypen in MJ bzw. kWh per m<sup>3</sup> Dung

Prozeßenergiebedarf		Anlagentyp	
		a	b
Heizung	MJ/m <sup>3</sup>	197	197
Wärmerückgewinnung	MJ/m <sup>3</sup>	<u>134</u>	<u>134</u>
Wärmeverbrauch	MJ/m <sup>3</sup>	63	63
Wärmeverlust	MJ/m <sup>3</sup>	<u>15</u>	<u>15</u>
Gesamtrestwärmebedarf	MJ/m <sup>3</sup>	78	78
Strombedarf	kWh/m <sup>3</sup>	138 <sup>2</sup>	138 <sup>2</sup>

- 1) Für Anlagen mit Gülle und Festmist, ohne CO<sub>2</sub>-Reinigung
- 2) Für Anlagen mit ausschließlich Gülle

**2.6 Jahresschwankungen**

Die Energieerzeugung einer Biogasgemeinschaftsanlage ist nur indirekt von jahreszeitlichen Schwankungen abhängig, da sie auf dem zugeführten Rohmaterial beruht. In Gebieten mit einem großen Anteil von Rinderdung wird die Zuführung von Naturdünger im Sommer in der Regel um etwa 1/3 gegenüber dem Winter

fallen, da sich die Tiere auf der Weide befinden. Der Weidegang wird allerdings für größere Rinderbetriebe immer seltener, so daß in diesen Fällen eine relativ gleichmäßige Zufuhr von Rohmaterial das gesamte Jahr über gerechnet werden kann.

Wird eine Anlage nach der Winterzufuhr des Rohmaterials dimensioniert, wird sich eine Verminderung der Zufuhr im 1/3 in einer Reduktion der Gaserzeugung um ca. 15 - 20 % auswirken. Die verminderte Reduktion der Gasausbeute rührt zum einen von einer längeren Aufenthaltszeit Rohmaterials in den Fermentern her und zum Teil in geringeren Prozeßenergiebedarfen aufgrund der höheren Temperatur des zugeführten Materials im Sommer.

Durch die Lagerung der frischen Gülle kann die Jahresschwankung in der Energieproduktion bis zu einem gewissen Grad dem Energiebedarfsprofil angepaßt werden. Die Anpassung geschieht durch eine Änderung der täglich zugeführten Güllemenge.

## 2.7 Energieverwendung

Das erzeugte Biogas kann insbesondere in Heizkraftwerken zur Erzeugung von Wärme und Strom verwendet werden. Außerdem kann das Gas zu reinen Heizzwecken oder zur Prozeßenergieerzeugung bei einem oder mehreren Großverbrauchern genutzt werden. Für Biogas aus Gemeinschaftsanlagen bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Direktversorgung von Großverbrauchern, wie z.B. Fernheizwerken, Industriebetrieben oder öffentliche Einrichtungen
- Verteilung über ein Inselgasnetz zusammen mit Flüssiggas oder Erdgas zur Deckung von Spitzenlast
- Reinigung des Erdgases auf Erdgasstandard und
- Absatz des Biogases auf den verschiedenen Druckniveaus.

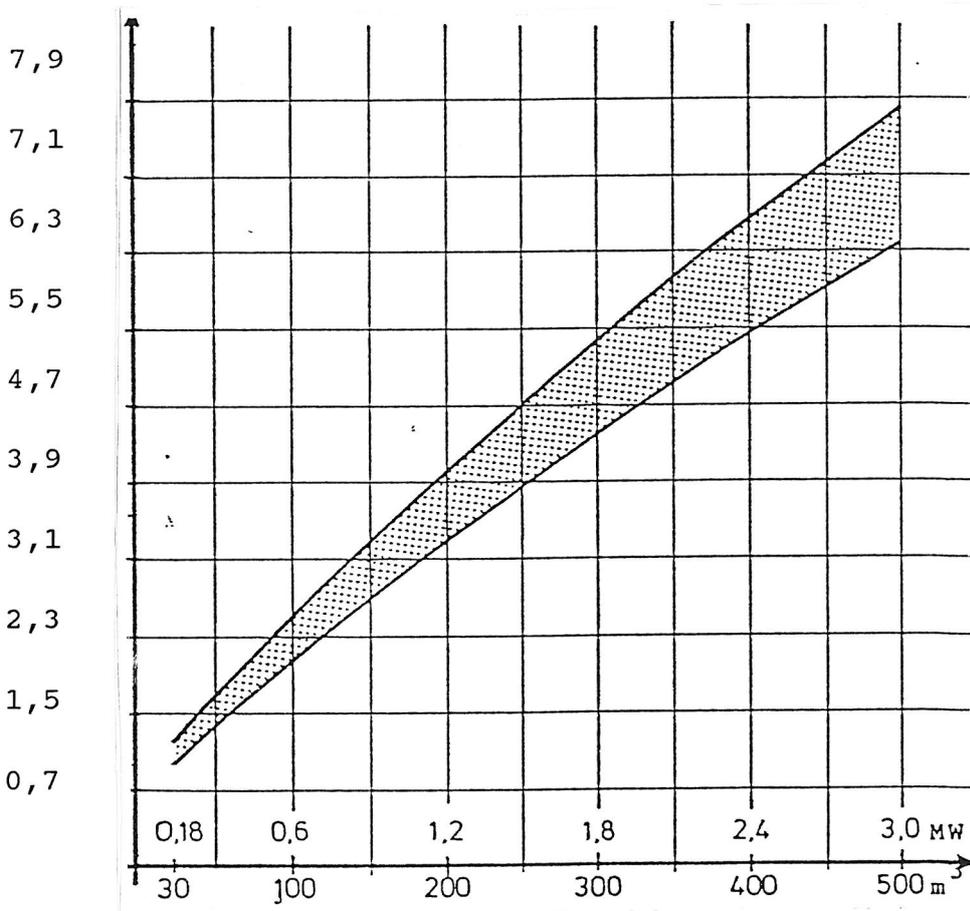
Bei einer Verwendung in einem Fernwärmewerk kann entweder ein Kessel, ein Gasmotor mit oder ohne Wärmepumpe oder eine Gasturbine gefeuert werden.

2.8 Investitions- und Betriebskosten

2.8.1 Gesamte Anlagenkosten

Die Investitionskosten für die beiden beschriebenen Anlagentypen gehen aus Abbildung 5 hervor.

Mio DM



Zugeführtes Rohmaterial/d

Abbildung 5: Investitionskosten für die Anlagentypen A und B (ohne MwSt, Preise von 1986)

Die angegebenen Investitionskosten decken die gesamten Bau- und Installationsarbeiten einschließlich Projektierung und Bauaufsicht. Eingerechnet sind ebenfalls Erdarbeiten, das Gebäude, die Annahmestation, Vorbehälter, Zwischenbehälter, Hygienisierungstanks, Fermenter, Wärmetauscher, Heizsystem, Gassystem, Gasglocke, Güllerohrsystem mit Pumpen, Entschwefelung, Steuerung, Anschlüsse sowie insgesamt ca. 7,5 % für unvorhergesehene Ausgaben, Projektierung und Bauaufsicht. In den Preisen nicht mitgerechnet sind die Grundstückskosten, die Kosten für den Gasspeicher, die Güllelager, die Transportfahrzeuge sowie die Anschlußgebühren bei Anschluß an das Fernwärmenetz.

Bei den Preisen ist davon auszugehen, daß lediglich landwirtschaftliche Fäkalien als Rohmaterial zugeführt wird. Werden andere Rohmaterialien zugeführt, können sich gewisse Kostenabweichungen ergeben. Die Preise in Abbildung 5 sind überhaupt mit einer gewissen Unsicherheit ( $\pm 10 \%$ ) zu verstehen, die für größere Biogasanlagen zunehmen. Dies rührt von der bisher geringen Erfahrung her (bisher 6 Anlagen in Dänemark). Zum anderen dienen diese Preise für die Durchführung von Grobuntersuchungen.

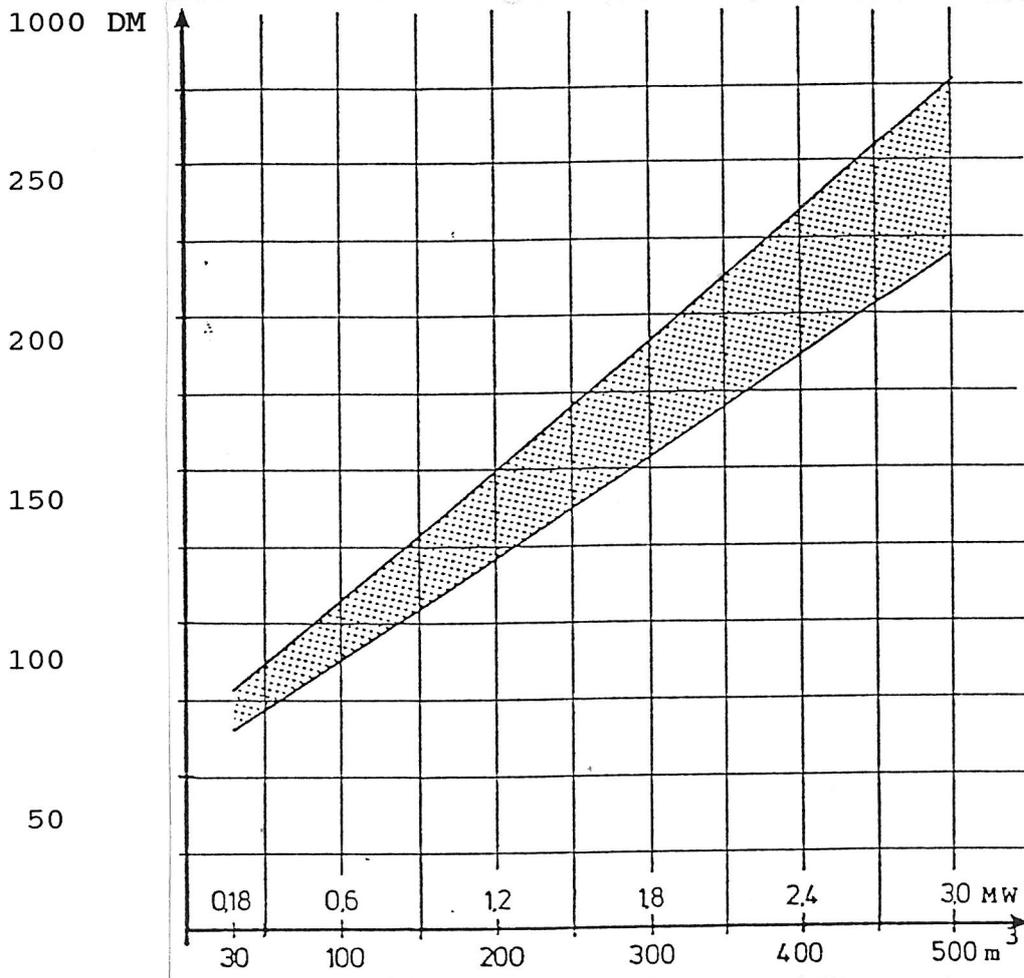
Darüber hinaus besteht eine große Preisunsicherheit in Hinblick auf die unterschiedliche Ausgestaltung der Anlagen. So ist z. B. ein großer Unterschied bei den Investitionskosten für die Fermente festzustellen. Während beispielsweise die Ausführung als geschalter Betonbehälter, wie beispielsweise bei Kläranlagen etwa 800 - 1.000 DM/m<sup>3</sup> kostet, belaufen sich die Kosten bei vorgefertigten Betonteilen auf ca. 150-400 DM/m<sup>3</sup>. Die Gesamtinvestitionskosten ergeben sich aus Abbildung 5, während in den Abbildungen 6 - 10 die Kosten auf die Hauptbestandteile aufgeteilt sind:

- Gebäude (Abb. 6)
- Annahmestation (Abb. 7)
- Vorbehälter (Abb. 8)
- Entschwefelungsanlagen (Abb. 9)
- die restliche Biogasanlage mit allen weiteren notwendigen Installationen (Abb. 10).

In den Abbildungen 11, 14 und 15 sind die Kosten von Anlagenbestandteilen angegeben, die aufgrund verschiedener Gasanwendungen entstehen und nicht Bestandteil der Investitionskosten nach Abbildung 5 sind. Abbildung 11 umfaßt die Anlagenkosten für eine Anlage mit Reinigung auf Erdgasstandard. (Bei Anwendung dieser Reinigungsart müssen die Kosten für die Entschwefelung gemäß Abbildung 12 für die gesamten Unkosten nach Abbildung 5 abgezogen werden.)

Abbildung 14 gibt die Kosten für die Komprimierung des Gases für verschiedene Druckniveaus an.

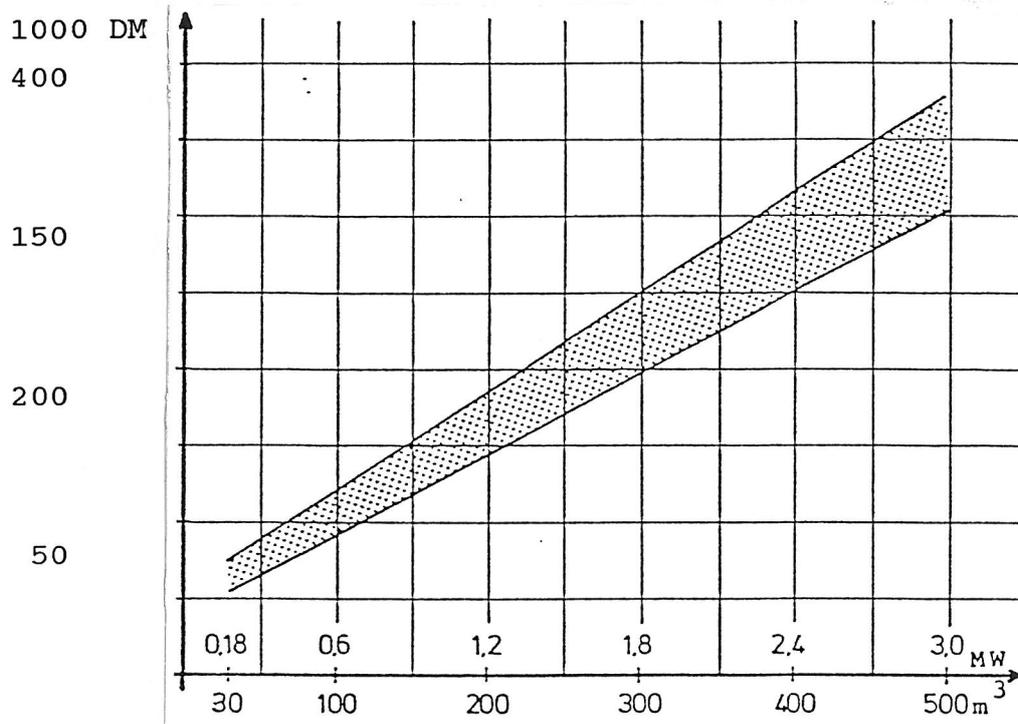
Abbildung 15 gibt die Investitionskosten für Gaslager in Form von Druckbehältern an. Die Preise für die Grundstücke müssen mit Hilfe von Abbildung 3 ermittelt werden. Sie sind örtlich sehr unterschiedlich. Die Kosten für die Güllelager und die Transportgeräte ergeben sich aus Abschnitt 4.



zugefügtes Rohmaterial/d

Abbildung 6: Investitionskosten für das Gebäude

Biogasanlagen, denen nur Gülle zugeführt wird, können vollständig auf die Annahmestation verzichten, da die Gülle direkt von den Transportfahrzeugen in die Vorbehälter gepumpt werden kann.



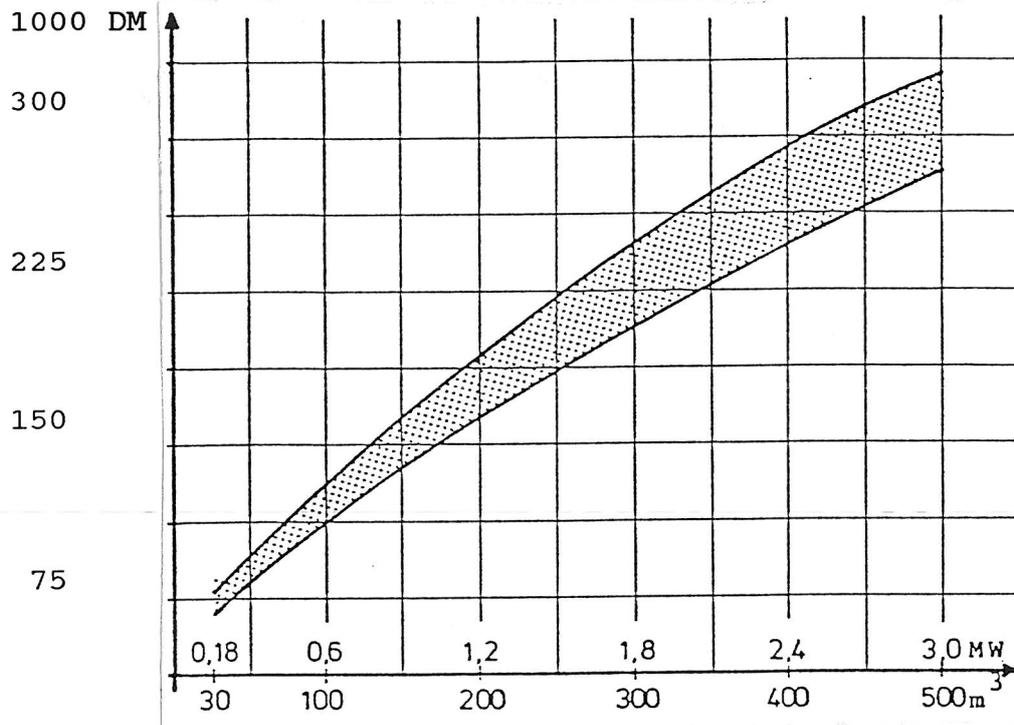
zugeführtes Rohmaterial/d

Abbildung 7: Investitionskosten für die Annahmestation für Biogasanlagen mit Zuführung von Gülle und Festmist

In den Preisen für den Vorbehälter sind die Kosten für die Rührwerke eingeschlossen. Die Kosten für die Pumpen wurden jedoch nicht hinzugerechnet, da diese in der Regel eine Mehrfachfunktion erfüllen. Die Behälter haben eine Abdeckung, um Ammoniakausgasungen und das Risiko von Geruchsbelästigung zu vermindern.

### 2.8.2 Gasreinigung

Die Abbildungen 9 und 11 zeigen Anlageninvestitionskosten für Gasreinigungsanlagen, die Schwefelwasserstoffe, Kohlendioxid bzw. Schwefelwasserstoffe und Ammoniak entfernen. Beide Anlagentypen reinigen das Gas von Verunreinigungen und setzen den Taupunkt des Gases herab.



zugeführtes Rohmaterial/d

Abbildung 8: Investitionskosten für Vorbehälter mit einem Volumen mit der 7-fachen Menge der täglichen Zuführung.

### 2.8.3 Biogasanlage

Die Biogasanlage umfaßt die notwendigen Behälter für die Hygienisierung und den Wärmetausch, die Fermenter, die Wärmetauscher, das Heizungssystem, das Gassystem, die Gasspeicher, die Güllerührwerke, Pumpen, Steuerung und Anschlüsse sowie unvorhergesehene Ausgaben, Projektierung und Bauaufsicht. Die Kosten sind in Abbildung 10 angegeben. Die Investitionskosten nach Abbildung 11 betreffen die verschiedenen Typen von Gasreinigungsanlagen:

Absorption/Desorption durch Druckwechsel zur gleichzeitigen Reinigung von  $H_2S$  und  $CO_2$  sowie eine Anlage zur Schwefelwas-

serstoffreinigung, kombiniert mit einer Membrane zur CO<sub>2</sub>-Reinigung. Kompressoren sind in den Preisen nicht berücksichtigt, da die Ausgaben für die Komprimierung des Gases aus Abbildung 14 hervorgeht.

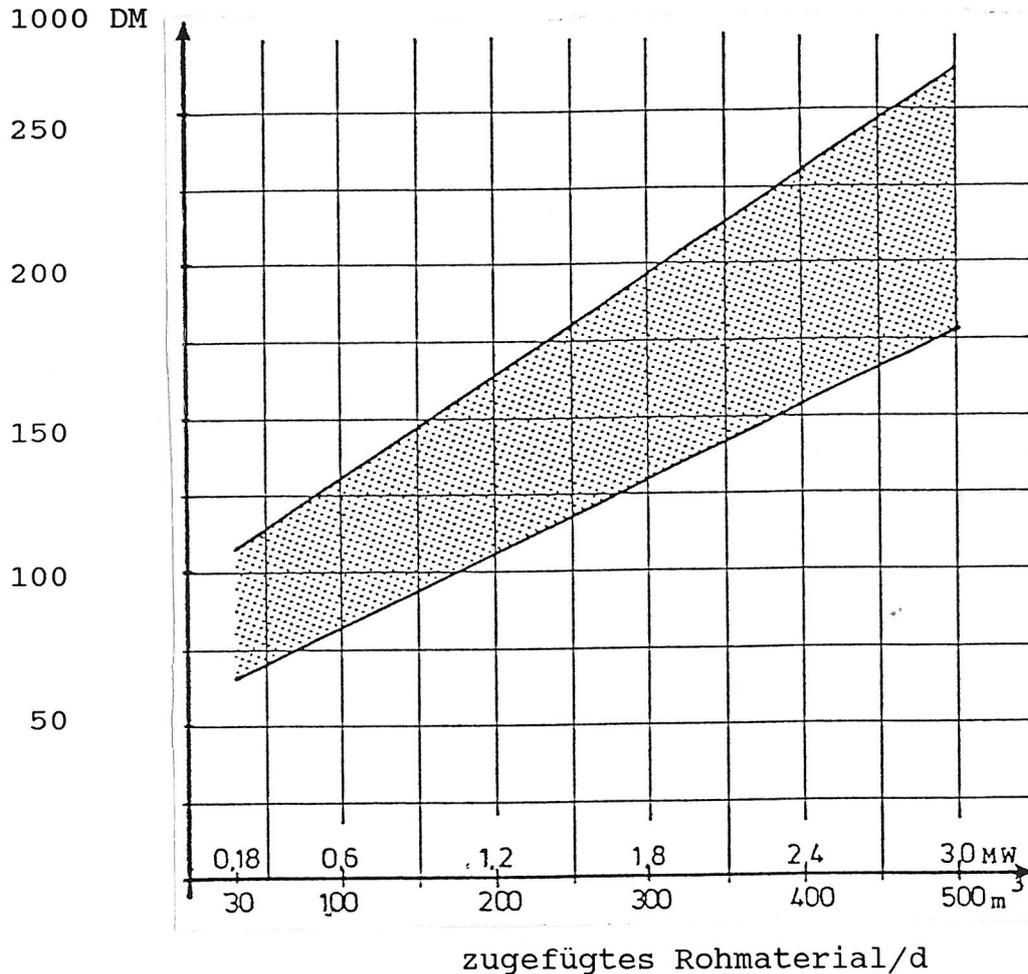


Abbildung 9: Investitionskosten für Entschwefelung für eine Reinigung von bis zu 5 mg Schwefelwasserstoff je Nm<sup>3</sup>

Das Absorptions/Desorptionsverfahren durch Druckwechsel erfordert einen Druck von 15 bar, während das Separationsverfahren mit Membranen einen Druck von ca. 30 bar erfordert. Die beiden Gasreinigungsanlagentypen führen zu einem Methanverlust von 9 bzw. 4,5 %.

2.8.4 Betrieb und Unterhaltung

Die Betriebs- und Unterhaltungskosten einer Biogasgemeinschaftsanlage hängen vom Automatisierungsgrad ab. Anlagen mit einer täglichen Zuführung von 100 - 500 m<sup>3</sup> sollten durchautomatisiert sein, so daß das Betriebspersonal lediglich die Anlage beaufsichtigt und kontrolliert. Bei Anlagen mit einer täglichen Zuführung von 50 - 100 m<sup>3</sup> kann der Automatisierungsgrad geringer sein, so daß bestimmte routinemäßige Arbeiten manuell gesteuert werden und innerhalb der gewöhnlichen Arbeitszeit erfolgen können.

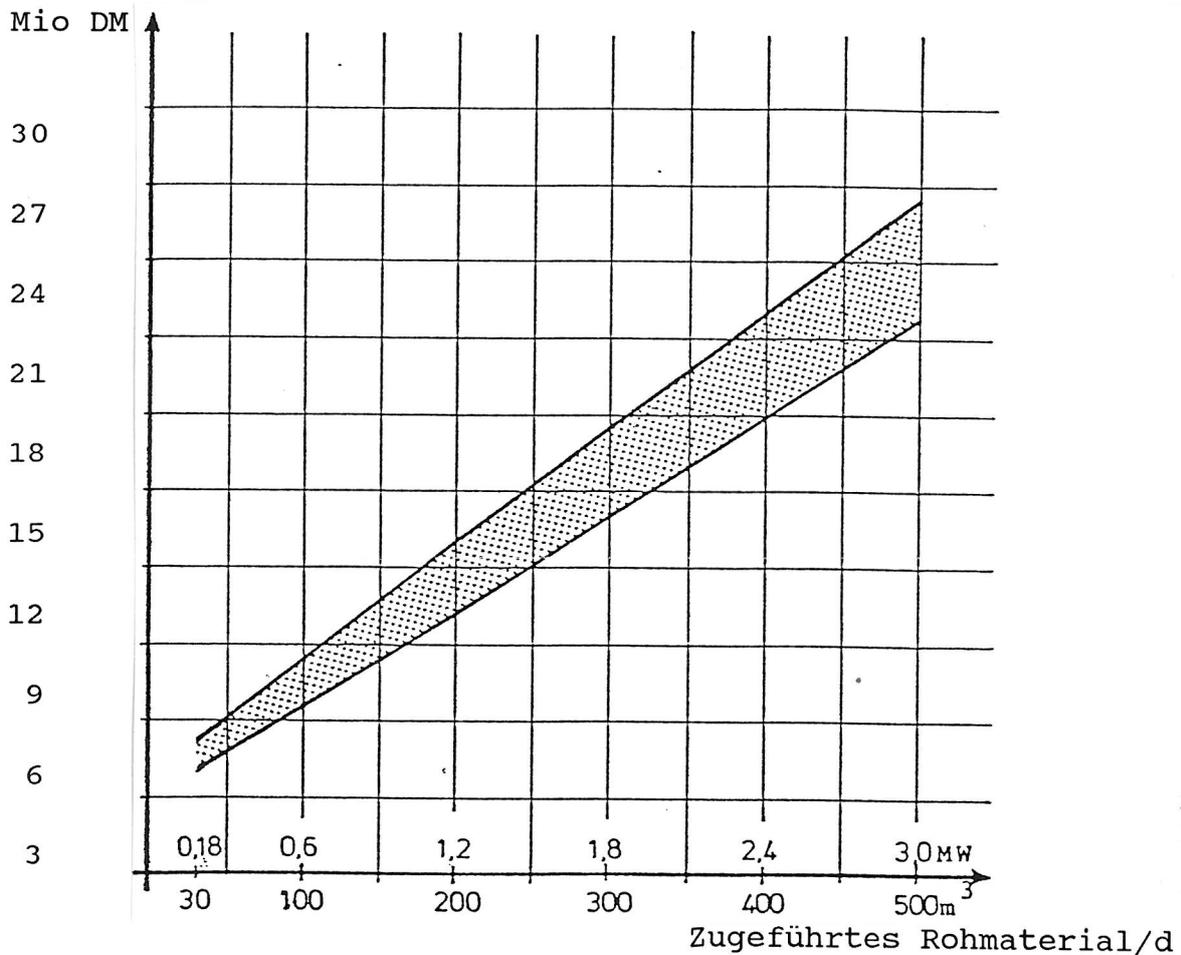
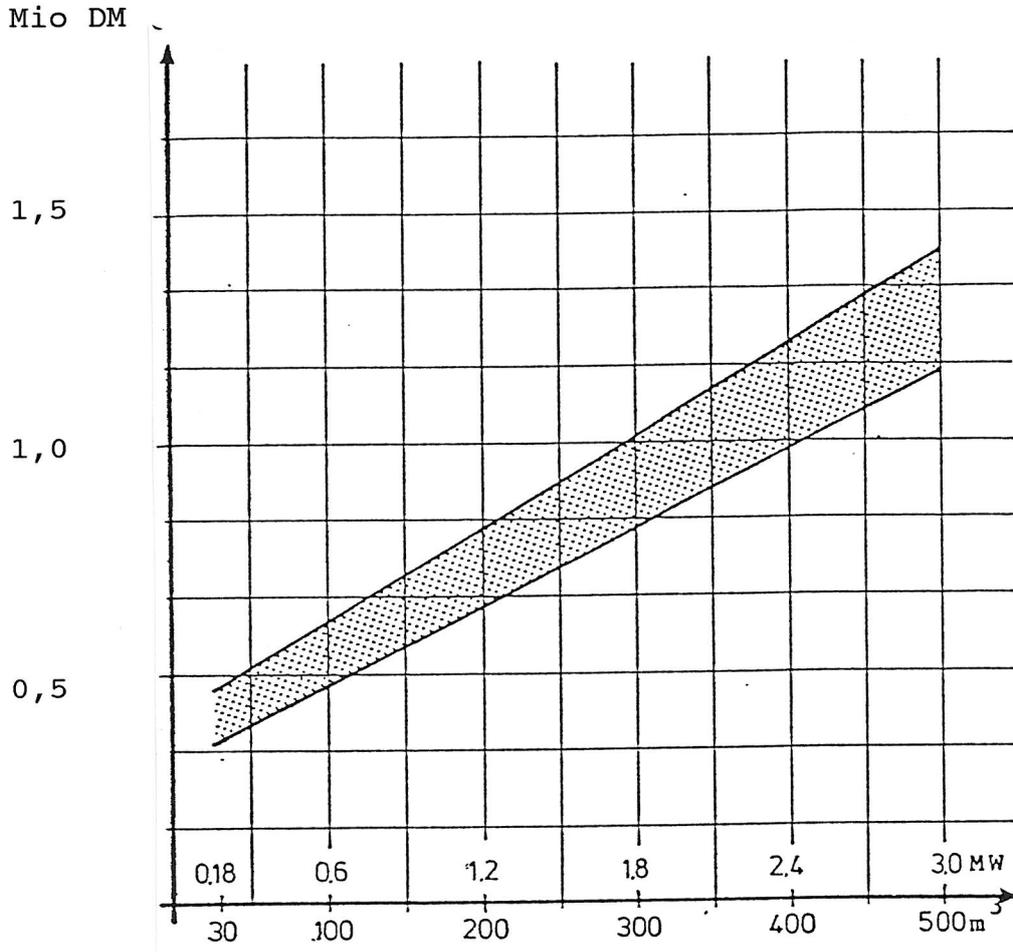


Abbildung 10: Investitionskosten für Biogasgemeinschaftsanlagen ohne Gebäude einschl. Installation, Annahmestation, Vorbehälter und Gasreinigung

Abbildung 12 zeigt die jährlichen Betriebsausgaben für eine Biogasgemeinschaftsanlage ohne Gasreinigung. Nicht einberechnet ist ebenfalls der Posten für die Transportkosten (siehe Abschnitt 3).



zugeführtes Rohmaterial/d

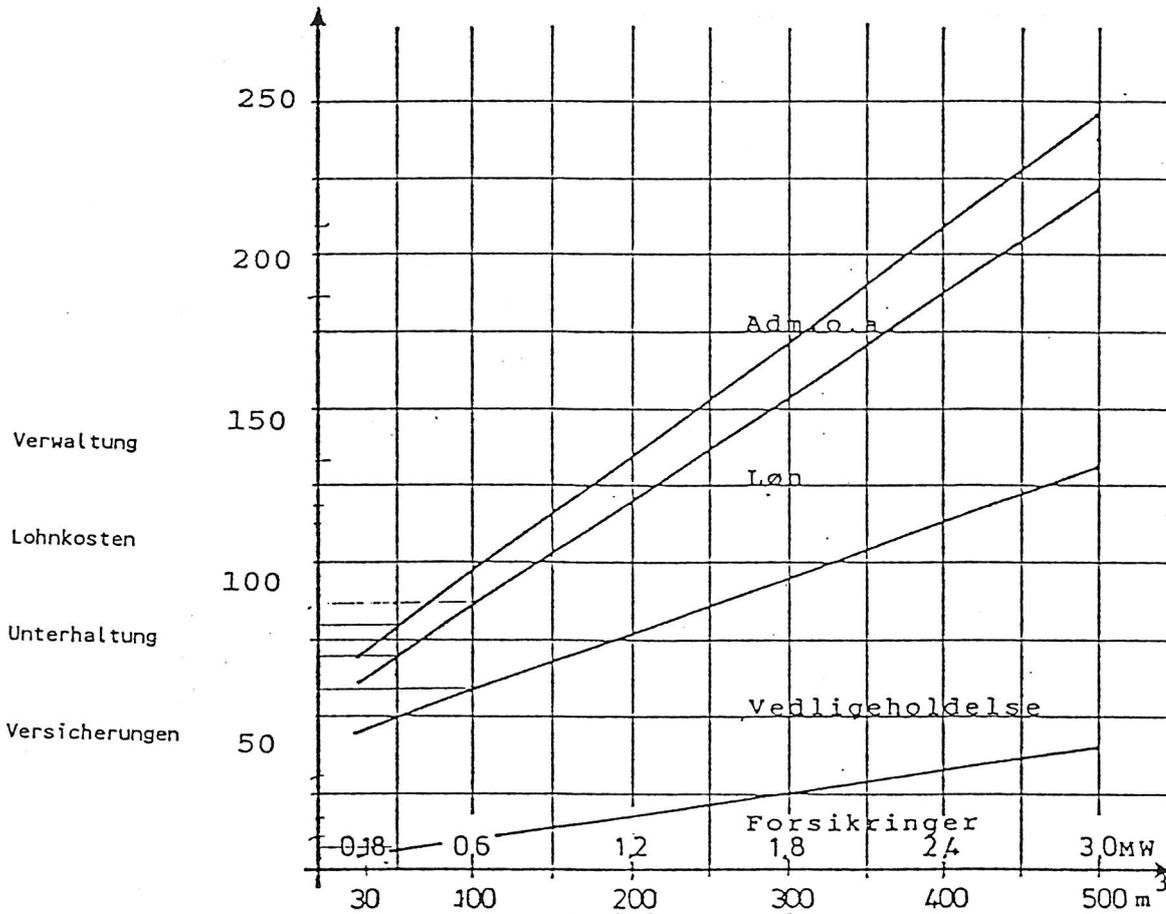
Abbildung 11: Investitionskosten für Gasreinigungsanlagen zur Reinigung bis Erdgasqualität

2.8.5 Komprimierung des Gases

In Abbildung 14 sind die jährlichen Kosten für die Komprimierung des Gases auf verschiedene Druckniveaus angegeben.

- Kurve A: 4 bar (Gas gereinigt für Erdgasstandard)
- Kurve B: 16 - 20 bar (dito)
- Kurve C: 30 - 40 bar (dito)
- Kurve D: 80 bar (dito)
- Kurve E: 4 bar (Biogas)
- Kurve F: 16 - 20 bar (Biogas)

Betriebskosten 1000 DM/a



zugeführtes Rohmaterial/d

Abbildung 12: Jährliche Betriebsausgaben einer Biogaseinschaftsanlage für Versicherung, Unterhaltung, Lohnkosten einschl. Verwaltung und weiteren Betriebsausgaben

Die Betriebsausgaben sind für die gesamte Biogasanlage in Abbildung 5 angegeben, jedoch ohne Entschwefelung. Die Stromkosten werden gesondert nach Tabelle 6 gerechnet.

2.8.6 Gaskessel

Bei Einrichtung eines Gaskessels zur Erzeugung der Prozeßwärme anstelle des Anschlusses an ein Fernwärmenetz erfordert zunächst die Berechnung der notwendigen Leistung. Die Leistung wird aufgrund des gesamten Wärmebedarf je m<sup>3</sup> Wirtschaftsdünger durchgeführt.

$$E \text{ (MW)} = \frac{\text{gesamter Wärmebedarf (MJ/m}^3\text{)} * \text{zugeführte Wirtschaftsdüngerenge(m}^3\text{)}}{\text{Heizungsdauer (sec)}}$$

Bei der Aufwärmzeit können höchstens 24 Stunden eingesetzt werden, aber zur Erzielung eines gewissen Sicherheits- und Kapazitätzuschlages wird oft mit 16 Stunden gerechnet.

Betriebskosten 1000 DM/a

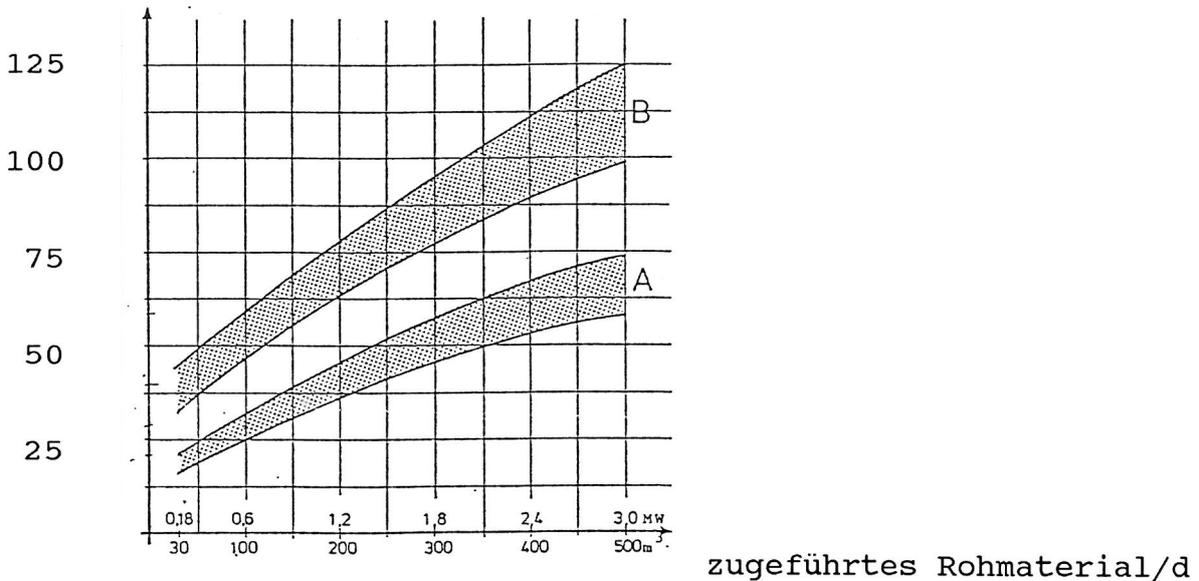


Abbildung 13: Die jährlichen Betriebsausgaben für Gasreinigung  
 A: Entschwefelung  
 B: Reinigung bis Erdgasqualität

Jährliche Kosten DM/GJ

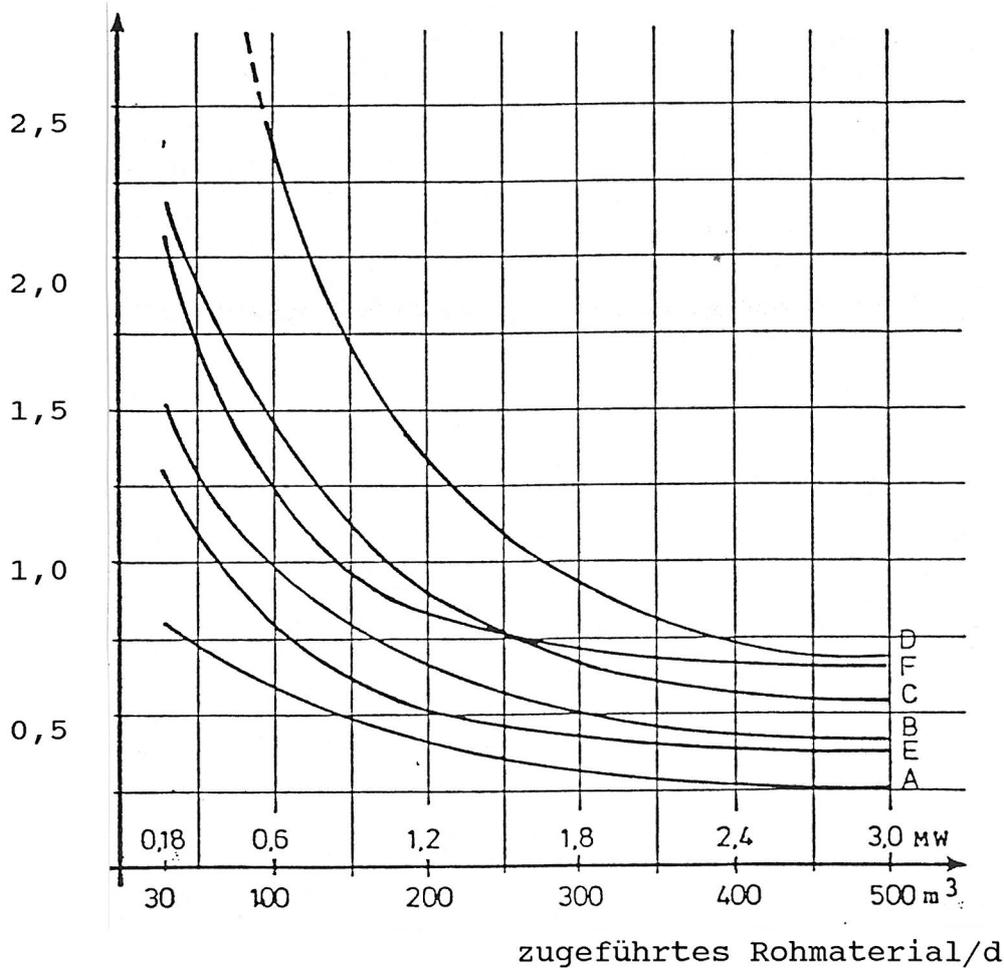


Abbildung 14: Die jährlichen Gesamtkosten für die Komprimierung des Gases

### 2.8.7 Gasspeicher

In den Investitionskosten für die Biogasanlage ist ein druckloser Speicher in Form einer Gasglocke eingerechnet. Diese Gasglocke sichert einen gleichmäßigen Betrieb der Gasreinigung bzw. des Gasabsatzes. Wenn ein größerer Speicher erforderlich ist, müssen Drucktanks verwendet werden. Abbildung 14 zeigt die Investitionskosten für Drucktanks zur Lagerung von Biogas mit einem Druck von maximal 16 bar. Die Betriebskosten können in Abbildung 14 abgelesen werden.

Die Kapazität des Tanks ergibt sich aus dem Unterschied zwischen dem geringsten und größten Druck im Lager multipliziert mit dem Lagervolumen und dem Brennwert des Biogases.

### 2.8.8 Haltbarkeit

Aufgrund der relativ wenigen Erfahrungen mit Biogasanlagen kann die Lebensdauer nur mit einer großen Unsicherheit festgesetzt werden.

Alle Anlagenteile, Behälter, Gebäudeteile und technischen Installationen, die weder mit dem Rohmaterial noch mit dem Biogas in Berührung kommen, dürften eine Lebensdauer von ca. 20 Jahren erreichen.

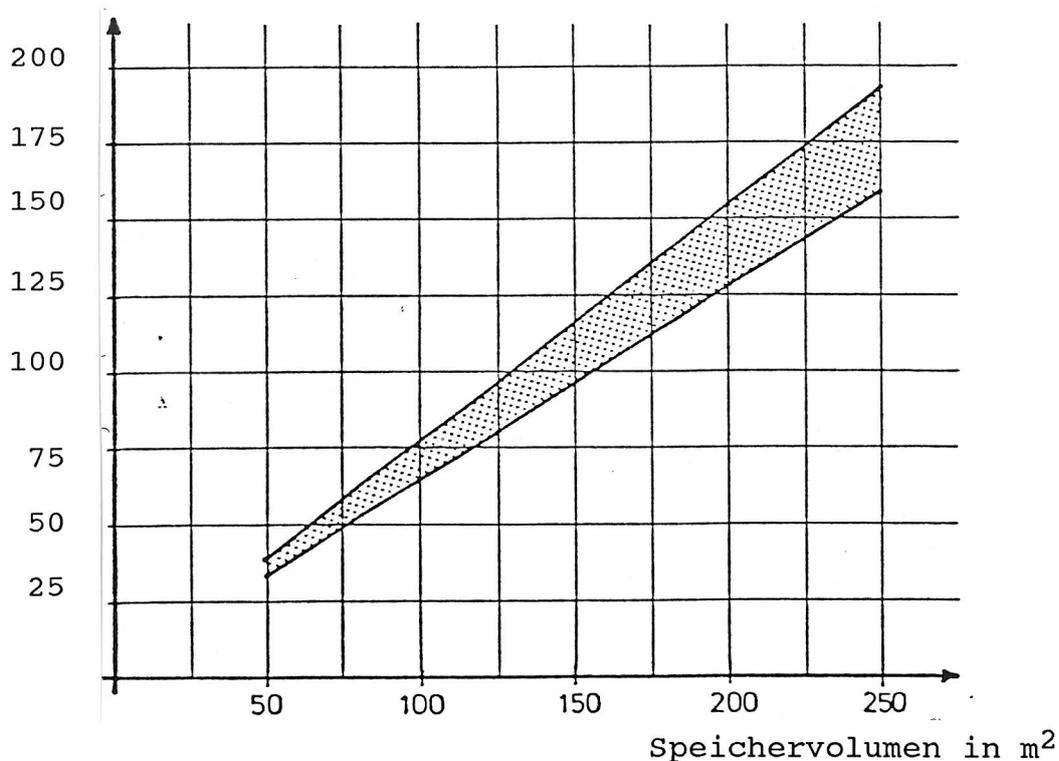


Abbildung 15: Investitionskosten (DM) für Gasspeicher als Druckbehälter

Technische Installationen wie Rohre, Ventile, Pumpen, die mit Rohmaterial oder Biogas in Berührung kommen, dürften eine Lebensdauer von nur ca. 10 Jahren erreichen. Für besonders in Anspruch genommene Installationen wie Motoren, Gaszähler, mechanische Teile wie Transportketten usw. sollte nur mit einer Lebenszeit von 5 Jahren gerechnet werden.

Aufgrund der Unterschiede in der Lebenszeit ist es erforderlich, Reinvestitionen nach 5, 10 bzw. 15 Jahren vorzunehmen. Die Reinvestierung für beide Anlagentypen sind in Tabelle 8 angegeben.

Tabelle 8: Reinvestitionen für beide Anlagentypen angegeben in 1.000 DM

Jahr	Anlagengröße in m <sup>3</sup>		Zuführung (d)	
	50 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup>	400 m <sup>3</sup>
5	55	70	100	170
10	270	340	480	780
15	55	70	100	170

In der Praxis werden die angeführten Reinvestierungen über verschiedene Jahre verteilt. Aufgrund der geringen Erfahrungen können Unterschiede in den Anlagentypen nicht vorgenommen werden.

### 3. Düngerhandhabung

#### 3.1 Düngertransport

Der Transport von Naturdünger zwischen den landwirtschaftlichen Betrieben, der Biogasanlage und den möglicherweise vorhandenen dezentralen Lagern kann mit Lastwagen oder Zugmaschinen erfolgen.

Die Wahl der Fahrzeugart, der Größe und der Ausstattung hängt unter anderem von dem Fahrweg, den Zufahrtsbedingungen, dem Nutzungsgrad und der Verwendung des Rohmaterials ab. Eine endgültige Bestimmung der Fahrzeuge erfordert daher eine genauere Analyse der oben genannten Faktoren.

Tabelle 9 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Fahrzeuge mit der Angabe des Gesamtgewichts und der Zuladung.

Tabelle 9: Zulässiges Gesamtgewicht und maximale Zuladung verschiedener Fahrzeuge.

Die Tankwagen sind mit drucklosen Tanks und selbstsaugenden Pumpen ausgestattet.

Nr.	Transport- fahrzeug	Gesamt- gewicht  (t)	Zuladung  (t)	mittlere Geschwin- digkeit km/h	Be- und Ent- ladezeit		Reinigungs- dauer  min.
					einf. min.	dopp. min.	
1		3 + 13	10	21	6	12	2
2		5 + 19	15	21	8	16	2
3		7 + 37	30	21	14	28	2
4		18	8,5	34	6	12	2
5		24	13	34	7	14	2
6		28	16	34	8	16	2
7		34	21	34	10	20	2
8		42	28	34	13	26	2
9		24	12	34	5	-	2
10		5 + 20	12	21	5	-	2

In der Tabelle sind außerdem die mittlere Geschwindigkeit und die erforderlichen Be- und Entladezeiten einschließlich der Reinigungszeiten angegeben.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit wurde für ländliche Gebiete mit schmalen Wegen berechnet.

### **3.1.1 Gülletransport**

Alle Gülletransportwagen sind mit drucklosen Tanks aus rostfreiem Stahl bzw. aus gewöhnlichem Stahl mit einer innenseitigen Oberflächenbehandlung ausgestattet. Das Füllen und Leeren der Tanks geschieht mit einer selbstansaugenden Pumpe mit einer Leistung von ca. 8 000 l/min.

Die Tankwagen sind mit einem hydraulisch bedienbaren Kran zur Bewegung eines 2 m langen Saugrohrs ausgestattet. In den Tanks sind eine oder mehrere Düsen zur Spülung des Tanks montiert. Warmes oder kaltes Spülwasser wird über eine Blitzkupplung an der Entnahmeanlage zugeführt.

Bei Traktoren mit zwei Anhängern wird der hintere Wagen mit Hilfe einer Schlauchverbindung gefüllt bzw. entleert.

Als Alternative zu den drucklosen Tanks mit selbstansaugenden Pumpen können Schlamm-sauger verwendet werden, die den Tank füllen bzw. entleeren, indem ein Unter- bzw. Überdruck im Tank geschaffen wird. Schlamm-sauger haben eine größere Betriebssicherheit als die drucklosen Güllewagen, da die Gülle keine Pumpe passieren muß.

Für die selbstansaugenden, drucklosen Güllewagen spricht allerdings, daß die spezifischen Investitionskosten je Tonne

Gülle etwa 20 % geringer sind als bei Schlammsaugern. Darüber hinaus bedingt das größere Gewicht des Schlammsaugers, daß bei einem gleichen Wagentyp etwa 15 bis 20 % weniger Gülle als bei drucklosen Wagen transportiert werden kann. Für Gülle mit einem hohen Trockensubstratanteil ist die Pumpleistung von selbstansaugenden Pumpen wesentlich höher als bei Schlammsaugern. Außerdem besteht bei einer selbstansaugenden Pumpe die Möglichkeit der Zirkulation der Gülle während des Transports. Dies ist besonders beim Transport von Schweinegülle ein Vorteil, die sich bei längeren Transportzeiten so stark absetzen kann, daß die Reinigung des Wagens erschwert wird.

### 3.1.2 Transport von Festmist

Festmist kann entweder in Containern transportiert werden oder zusammen mit Gülle, wenn er mit der Jauche vermischt wird. Es ist auch möglich, Festmist mit Anhängern zu transportieren, sofern der Traktor über eine Mistgabelvorrichtung verfügt.

Bei der Wahl der Transportmethode sind mehrere Punkte gegeneinander abzuwägen. Die Containerlösung ergibt geringe Investitionskosten auf den landwirtschaftlichen Betrieben. Dies ist dann besonders günstig, wenn es sich um mehrere kleinere Lieferanten handelt. Die Jauche, die wegen ihres geringen Trockensubstratanteils für die Biogaserzeugung wenig attraktiv ist, verbleibt auf dem Hof.

Nachteilig wirkt sich aus, daß mit den Containern eine besondere Transportausstattung erforderlich wird. Es gibt keine Möglichkeit, auf dem Weg zum landwirtschaftlichen Betrieb entgaste Gülle zu transportieren, so daß Leerfahrten entstehen. Da die Container von einem Hof zum andern

transportiert werden, besteht eine erhöhte Gefahr der Übertragung von Krankheiten usw. Da der Container nur abgeholt wird, wenn er voll ist, ist eine präzise Transportplanung erforderlich.

Beim Mischverfahren kann das gleiche Fahrgerät zum Transport von Gülle und Festmist verwendet werden. Dies ist besonders dann vorteilhaft, wenn keine Möglichkeit besteht, die Behälter voll auszunutzen, z.B. bei Kleinmengen von Festmist. Es entstehen keine Leerfahrten und die Gefahr der Übertragung von Krankheiten ist gering.

Nachteilig wirken sich die hohen Investitionskosten aus. Durch die Einbeziehung der Jauche ergibt sich eine geringere organische Belastung der Biogasanlage und es müssen große Fäkalienmengen transportiert werden.

Der Transport von Containern kann mit Traktoren oder Lastwagen erfolgen. Wenn die Traktoren oder Lastwagen nicht voll ausgelastet sind, können sie beim Containersystem für andere Aufgaben verwendet werden. In diesen Fällen kann der Transport an ein Speditionsunternehmen vergeben werden.

### **3.2 Güllelager**

Bei der Lagerung der entgasten Gülle sollen die bestehenden Güllebehälter auf den landwirtschaftlichen Betrieben so weit wie möglich genutzt werden. Allerdings in den meisten landwirtschaftlichen Gebieten beträgt die bestehende Lagerkapazität im Durchschnitt weniger als vier Monate. Gesetzliche Vorschriften zur Schaffung einer Mindestlagerkapazität sind in Hessen bisher nicht erlassen.

Eine Ausweitung der Lagerkapazität kann z.B. durch gemeinsame Lager, entweder zentral bei der Biogasanlage oder dezentral in den Feldern, erfolgen.

### **3.2.1 Zentrale Lager**

Bei der zentralen Lösung wird die Lagerkapazität für Gülle durch die Errichtung von großen Güllelagern bei der Biogasanlage geschaffen. Die Lager können beispielsweise mit vorgefertigten Betonelementen oder Stahltanks usw. gebaut werden.

Die zentrale Lagerlösung bedingt Leerfahrten, da der Teil des Dungs, der in dem gemeinsamen Lager aufbewahrt wird, über einen längeren Zeitraum dort verbleibt. Der Dung wird im Frühjahr und im Herbst in relativ kurzen Kampagnen ausgebracht, was eine größere Verkehrsbelastung mit sich bringt und Engpässe im Fahrzeugpark schaffen kann.

### **3.2.2 Dezentrale Lager**

Bei dezentralen Lagern ist der Abstand von Lager zu Feld in der gleichen Größenordnung wie der Abstand von Hof zu Feld. Die Größe der Lager hängt davon ab, welche Dungmenge pro Hektar ausgebracht wird und davon, wie die Düngerplanung eingerichtet wird. Ein dezentrales Lager soll i.d.R. eine Fläche von etwa 4 km<sup>2</sup> umfassen. Der Abstand zwischen Lager und Feld variiert somit von 0 bis 1,4 km. Der Mittelwert von etwa 1 km entspricht in etwa der Größenordnung der heutigen Abstände von Hof zu Feld.

### **3.3 Beladestation auf dem landwirtschaftlichen Betrieb**

Die Beladestation auf den landwirtschaftlichen Betrieben ist von der Transportform abhängig.

Bei einem Transport des Festmistes in Containern ist ein Containerplatz mit festem Belag und Auflauf erforderlich. Der Platz soll für zwei Container ausreichen, so daß ein leerer Container aufgestellt werden kann, bevor der gefüllte abgeholt wird. Die Wegeverhältnisse sollen ermöglichen, daß der Transport ganzjährig erfolgen kann. Wenn Festmist mit Gülle und Jauche vermischt wird, muß auf Höfen ohne bestehende Gülleanlage ein neuer Vorbehälter mit einem Volumen von ca. 30 m<sup>3</sup> eingerichtet werden, der mit einem kräftigem Propellerrührwerk zur Mischung von Festmist und Jauche ausgestattet ist. Auf landwirtschaftlichen Betrieben mit Anlagen für Festmist, Jauche und Gülle ist es in einigen Fällen möglich, die Mischung in dem vorhandenen Güllebehälter vorzunehmen. Die Gülle wird in den Tankwagen gepumpt, direkt vom Vorbehälter über eine Leitung, die zu einer gut zugänglichen Stelle verlegt wird.

### **3.4 Ausbringung von Wirtschaftsdünger**

Die Fahrzeuge für den Transport des Wirtschaftsdüngers zwischen landwirtschaftlichen Betrieben und der Biogasanlage werden i.d.R. nicht zur Ausbringung der entgasten Gülle in den Feldern verwendet. Dies hat sowohl technische als auch organisatorische Gründe.

Unbehandelter Festmist wird mit Miststreuern ausgebracht und untergepflügt. Flüssiger Wirtschaftsdünger wird mit einem Güllewagen ausgebracht, an dem ein Güllesprühverteiler oder Verteilschleudern mit und ohne Prallteller montiert sind.

Nach der Ausbringung wird die Gülle durch Unterpflügen oder Eingrubbern eingearbeitet. Die Bearbeitung geschieht spätestens 12 Stunden nach der Ausbringung. Die Verregnung der Gülle erfordert einen wesentlich größeren Zeitvorsprung als das gewöhnliche Versprühen mit dem Güllewagen. Mit vorhandenen Geräten ist sie nicht rentabel. Sie ist jedoch aus Umweltgründen empfehlenswert, da die Verregnung die Ammoniakverdunstung reduziert, wodurch sowohl die Umweltbelastung vermindert wird als auch der Bedarf an Zufuhr von Kunstdüngern. Dies ist besonders wichtig bei der Ausbringung von entgaster Gülle, die verglichen mit unbehandelter Gülle einen größeren Anteil an flüchtigem Ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) enthält.

Da die entgaste Gülle homogener ist und einen geringeren Trockensubstratanteil aufweist als unbehandelte Gülle, ist sie leichter zu verregnen. Allerdings ist hier noch eine wichtige Forschung und Produktentwicklung zu leisten.

### **3.5 Erforderliche Daten**

Naturdung enthält die Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) (vgl. Tabelle 1). Die Stickstoffverdunstung wird mit etwa 5 % bei gewöhnlichen Misthaufen und Jauchebehältern angenommen. Bei Güllebehältern geht i.d.R. kein Stickstoff verloren. Phosphor und Kalium bleiben ebenfalls vollständig enthalten. Die Ausnutzung von Stickstoff hängt von vielen Faktoren ab:

Ausbringungszeitpunkt (Frühjahr, Herbst)

Fruchtart

Ausbringungsart und Geschwindigkeit

Bodenverhältnisse

Temperatur

Luftfeuchtigkeit.

Der Ausnutzungsgrad wird beschrieben als relativer Nutzungsgrad, der die Ausnutzung von Stickstoff aus Wirtschaftsdünger mit der von Stickstoff aus Handelsdünger vergleicht. Der relative Ausnutzungsgrad beschreibt, wieviel Stickstoff aus Kunstdünger eine Einheit Stickstoff aus Wirtschaftsdünger ersetzen kann, ohne daß die Düngewirkung verändert wird.

In Tabelle 10 werden die relativen Nutzungsgrade für Stickstoff bei einer Einarbeitung 6 Stunden nach Ausbringung beschrieben.

Dungart	Ausbringung	Mais Rüben Kartoffeln	Gras	Getreide Raps
Festmist	Frühjahr	45	-	40
	Herbst <sup>1)</sup>	35	15	30
Jauche	Frühjahr	50	35	50
	Herbst <sup>1)</sup>	25	20	20
Gülle	Frühjahr	50	35	45
	Herbst <sup>1)</sup>	25	20	20

<sup>1)</sup> spätmöglicher Zeitpunkt vor Frosteinbruch

Tabelle 10: Stickstoffausnutzungsgrade in % einschließlich Wirkungen im 2. und 3. Jahr. Ein relativer Stickstoffausnutzungsgrad von beispielsweise 45 % bedeutet, daß 1 kg Stickstoff in Wirtschaftsdünger die gleiche Düngungswirkung hat wie 0,45 kg Stickstoff aus Kunstdünger.

Phosphor wird nur in sehr geringem Umfang ausgewaschen, da er unter normalen Bedingungen im Boden festgehalten wird. Es können daher theoretisch Mengen zugeführt werden, die den Bedarf der Früchte über mehrere Jahre abdecken. Allerdings setzt dann ein Rückgang in der Phosphorverfügbarkeit ein. Im ersten Jahr beträgt der Ausnutzungsgrad für Phosphor ca. 70 %. Langfristig wird jedoch auch der organisch gebundene Phosphor freigegeben, so daß hier mit einem Ausnutzungsgrad

von etwa 90 % gerechnet werden kann. Bei einer andauernden Überdüngung von Flächen, die bereits gut mit Phosphor versorgt sind, geht dieser Überschuß verloren.

Bei Kalium kann im ersten Jahr mit einem Ausnutzungsgrad von 90 % gerechnet werden. Bei einer Ausbringung im Herbst ist allerdings von einem etwas geringeren Ausnutzungsgrad auszugehen, da eine geringe Auswaschung auf leichteren Böden vorkommen kann. Eine Überdüngung mit Kalium führt zu einer "Luxusaufnahme" bei den Pflanzen und führt insbesondere bei leichteren Böden zur Auswaschung. Ein hoher Kaliumanteil im Futter vermindert die Fähigkeit der Tiere u.a. Magnesium aufzunehmen, was wiederum Krankheiten begünstigt. Bei einer Überdüngung mit Kalium auf Flächen, die bereits ausreichend versorgt sind, gehen die Nährstoffe verloren.

Die empfohlenen Düngemengen (als Handelsdünger) sind in den Tabellen 11 und 12 angegeben. Die empfohlenen Mengen sind berechnet als die Mengen, die den größten wirtschaftlichen Nutzen bringen. Sie sind daher abhängig vom Preis des Handelsdüngers und von den Preisen für die Feldfrüchte. Die Mengen für Phosphor und Kalium gelten für Böden mit mittlerer Nährstoffzahl, bei geringeren Phosphor- und Kaliumzahlen mit einem Bedarf für eine größere Zuführung dieser Nährstoffe. Die Stickstoffmengen gelten für typische Mineralböden.

Die ideale Zuteilung von Wirtschaftsdünger besteht darin, während mehreren Jahren nicht mehr Wirtschaftsdünger zuzuführen, als den wirtschaftlich optimalen Handelsdüngermengen entsprechen würden. Es ist möglich die empfohlene Düngemenge auf Wirtschaftsdünger umzurechnen. Hierzu wird der Düngewert des Wirtschaftsdüngers aus der Tabelle 1, die empfohlenen Düngemengen aus den Tabellen 11 und 12 und der Stickstoffausnutzungsgrad aus Tabelle 10 herangezogen. In Tabelle 13 ist

ein Beispiel einer solchen Berechnung für Schweinegülle auf Winterweizen und für Rindergülle auf Rüben dargestellt. In dem Beispiel wurde vorausgesetzt, daß der gesamte Nährstoffbedarf von Naturdung gedeckt werden soll.

Tabelle 11: Empfohlene Handelsdüngerzufuhr

Getreide	Vorrucht	Nährstoff kg/ha		
		N	P	K
Frühgerste und Hafer	Dauergerste	130	25	60
	Getreide, Futterwechsel	110	20	50
	Rüben mit Stalldung	90	15	50
	Kartoffeln o. Stalldung	110	20	60
	Weidegras	80	20	50
Winterweizen	Getreide	180	25	60
	Ölpflanzen	160	25	60
	Saatgut	150	25	60
	Hülsenfrüchte	140	25	60
Winterroggen	Getreide	140	20	50
	Kartoffeln o. Stalldung	120	20	50
Wintergerste	Getreide	170	25	60
	Ölpflanzen	160	25	60

Tabelle 12: Empfohlene Kunstdüngermengen

Grünfutter		Nährstoff kg/ha		
		N	P	K
Futterrüben		180	35	200
Steckrüben		160	45	200
Zuckerrüben		120	35	150
Kartoffeln	Mehlerzeugung	150	35	125
Ganzsaat		130	40	170
Silomais		170	35	175
Weidegras	Abgrasung	130	25	70
	Gemäht	250	40	200
Gras	Gemäht	350	40	250
Luzernen	Gemäht	0	40	250

		N	P 1)	K
<u>Bsp. 1: Rindergülle auf Rüben</u>				
Empfohlene Kunstdünger- mengen	kg/ha	180,0	35,0	200,0
Düngerinhalt	kg/t	5,7	0,8	5,5
Ausnutzungsgrad (Frühjahr)	%	55,0	90,0	90,0
Empfohlene Wirtschafts- düngermengen mit 100%-iger Deckung des N, P und K- bedarfs	t/ha	57,4	48,6	40,4
<u>Bsp. 2: Schweinegülle auf Frühgerste</u>				
Empfohlene Kunstdünger- mengen	kg/ha	130,0	25,0	60,0
Düngerinhalt	kg/t	6,8	1,6	3,3
Ausnutzungsgrad (Frühjahr)	%	35,0	90,0	90,0
Empfohlene Wirtschafts- düngermengen mit 100%-iger Deckung des N, P und K- Bedarfs	t/ha	54,6	17,4	20,2

Tabelle 13: Beispiele für empfohlene Güllemengen

1) Die in der Bundesrepublik verwendeten Werte liegen z.T. erheblich höher.

Auf Böden mit einer guten Nährstoffversorgung würde eine ideale Verteilung bedeuten, daß im Durchschnitt der Fruchtfolge weder eine Überdüngung mit Stickstoff, Phosphor oder Kalium auftritt. Dies gilt für Früchte mit mittelhohem Ausnutzungsverhalten. Wird eine solche Verteilung angestrebt, muß darauf geachtet werden, über eine Reihe von Jahren nicht mehr als 40,4 t Rindergülle per ha und Jahr auf Rüben, und nicht mehr als 17,4 t Schweinegülle pro ha und Jahr auf Weizen ausgebracht wird. Entsprechende Berechnungen für die anderen Feldfrüchte können zur Abschätzung der Einsparung von Kunstdünger angestellt werden.

### 3.6 Kosten

Die Investitionskosten einschließlich den Ausgaben für betrieb und Unterhaltung, sowie für Reinvestitionen für einzelne Anlagenteile basieren auf dänischen Erfahrungen. Die Preise wurden 1986 ermittelt. Die Kosten für die Abnahmestationen auf den landwirtschaftlichen Betrieben sind sehr stark von den vorliegenden Verhältnissen abhängig. Zu überschlägigen Berechnungen wurden daher typischerweise vorgefundene Verhältnisse angenommen.

#### 3.6.1 Transport

Die Ausgaben zum Transport des Naturdungs ergeben sich aus den Abbildungen 16 und 17, die die Transportausgaben als Funktion der geplanten Größe der Biogasanlage darstellen. Die angegebenen Werte haben jedoch nur empfehlenden Charakter, da nicht alle zugrundegelegten Annahmen ohne weiteres auf die Bundesrepublik übertragen werden können. Dies gilt insbesondere für einen eingerechneten Zuschuß von 40 % auf die Investitionskosten für die Fahrzeuge.

Transportkosten

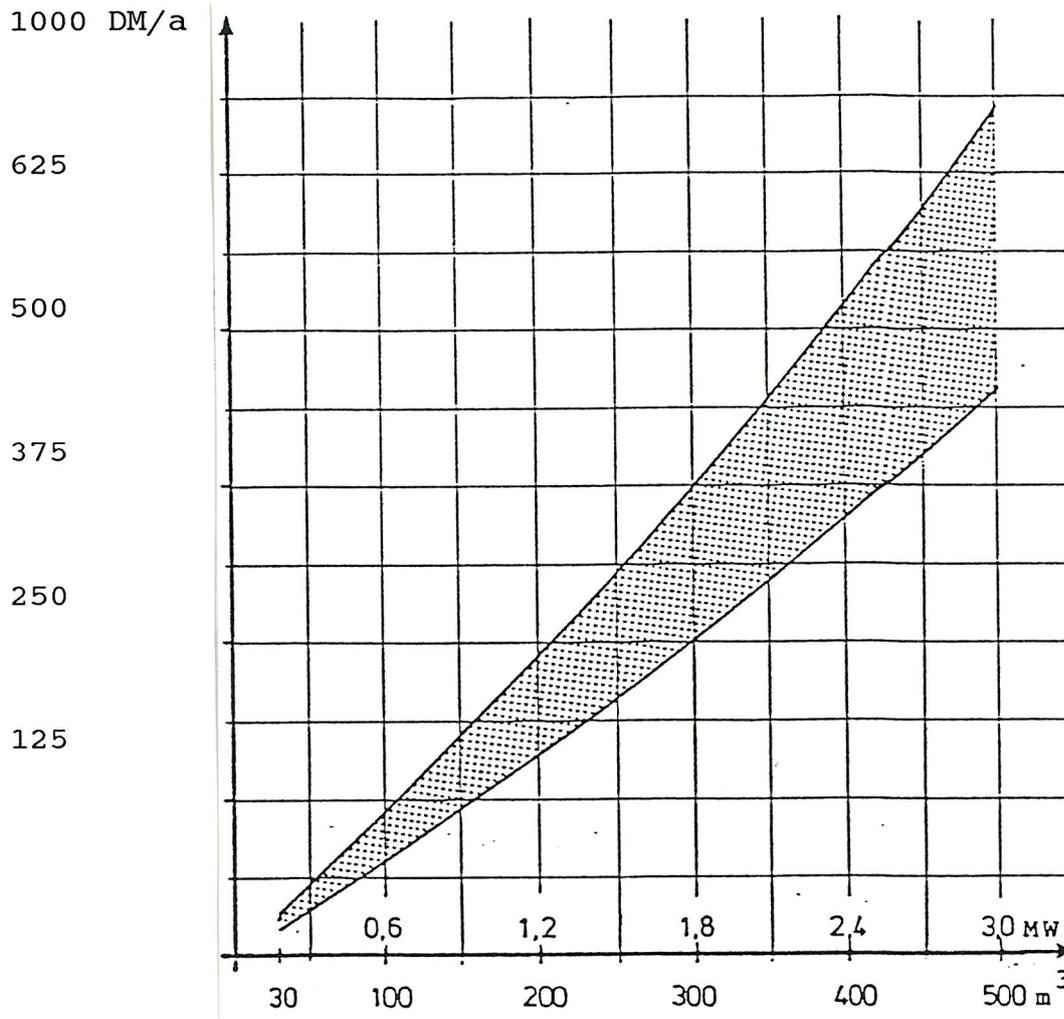


Abbildung 16: Jährliche Ausgaben für den Transport mit einem Traktor und Anhängern. Die Nutzlast beträgt 15 t Gülle und 12 t Festmist. Der Anteil des Festmists beträgt etwa 25 %.

## Transportkosten

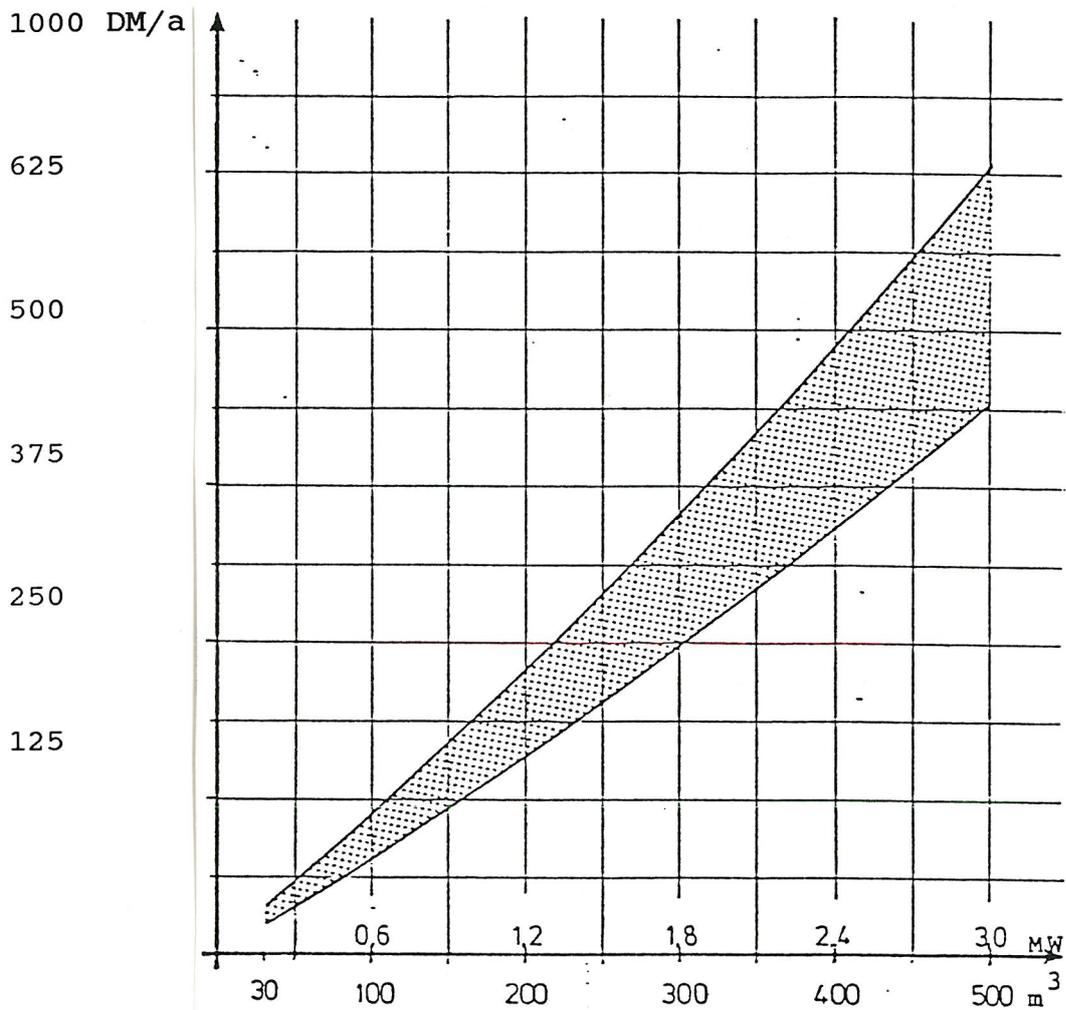


Abbildung 17: Jährliche Ausgaben bei Transport mit Tankwagen mit einer Nutzlast von 16 t Gülle und 12 t Festmist.

Rechnet man den 40 %-igen Zuschuß heraus, so ergeben sich etwa 5 bis 10 % höhere jährliche Kosten. Mit Hilfe von Fragebogenuntersuchungen oder durch andere Methoden eingesammeltes Material über die einzelnen Güllielieferanten in dem jeweiligen Gebiet ergeben die Möglichkeit für eine präzisere Berechnung der Transportkosten (siehe Tabelle 13 a).

	Fahrzeug- typ	Zuladung  (t)	Investitions- kosten  in 1000 DM	Schrott- wert n. 5 J.  in %	Betrieb und Unter- halt DM/h	Brenn- stoff  DM/h	Versicherung der Investi- tion
Traktor 80 PS <sup>1)</sup>	1		50	32,8	20	16	3
Traktor 100 PS <sup>2)</sup>	2,10		65	32,8	25	20	3
Traktor 140 PS <sup>3)</sup>	3		110	32,8	35	30	3
Gütlewagen	1	10	55	32,8	20	-	3
Gütlewagen	2	15	65	32,8	25	-	3
Anhänger <sup>4)</sup>	3	15	40	32,8	20	-	3
Lastwagen	5	13	240	32,8	45	24	3
Lastwagen	6	16	255	32,8	50	27	3
Lastwagen	8	28	290	32,8	55	32	3
Hänger	-	28	120	32,8	20	-	3
Container	-	12	8	0	0	-	0

1) zieht 10 t Anhänger

2) zieht 15 t Anhänger

3) zieht 2 \* 15 t Anhänger

4) Aufbau auf gebrauchten 2-Achshänger

Tabelle 13 a: Preise und Betriebs- bzw. Unterhaltungskosten für ausgewählte Transportfahrzeuge.

Bei größeren Biogasanlagen mit einer großen Zahl angeschlossener landwirtschaftlicher Betriebe ist zur Berechnung der Transportzeit und der Transportabstände und damit zur Ermittlung des Bedarfs an Transportmitteln ein entsprechendes EDV-Programm erforderlich.

### 3.6.2 Gemeinsame Güllelager

Die Investitionskosten für Güllelager einschließlich Grunderwerb, Pumpen, Zäune und Fahrbahnen sind in Abbildung 11 angegeben.

1000 DM

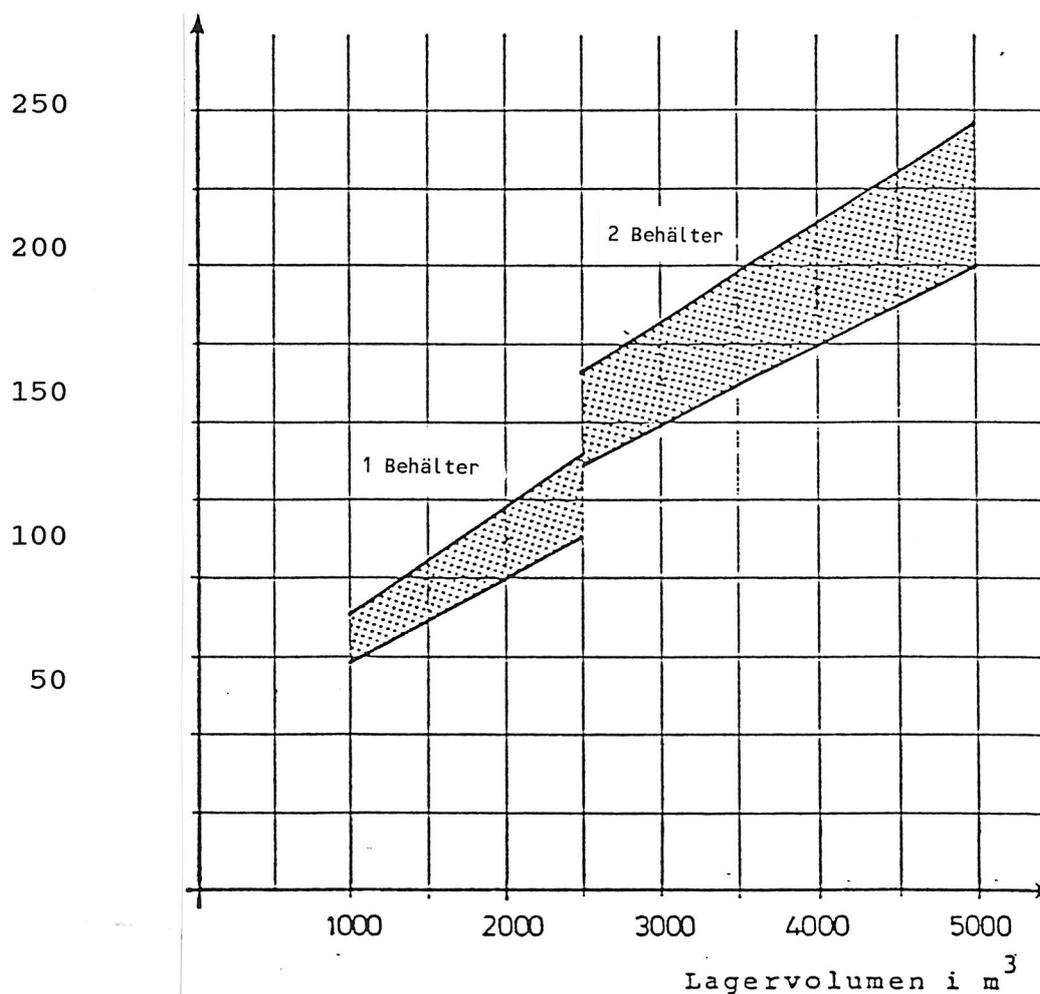


Abbildung 18: Anlageninvestitionen für große Güllelager aus vorgefertigten Betonbehältern.

Die in Tabelle 4 angegebenen Güllemengen gelten ab Stall. Da die Gülle in offenen Güllebehältern gelagert wird, müssen sie so dimensioniert werden, daß sie die Niederschlagsmengen in der Aufbewahrungszeit mit aufnehmen können. Die jährlichen

Reinvestitionskosten für die Rühranlagen machen etwa 1 % der Anlageninvestitionen aus.

### 3.6.3 Beladestationen

Die Kosten zur Errichtung von Beladestationen (Zapfstellen) sind stark abhängig von den bestehenden Zufahrtsverhältnissen, den bisherigen Aufbewahrungsverhältnissen usw. Für überschlagsberechnungen können die Werte aus Tabelle 14 benutzt werden. Sie sind besonders dann anzuwenden, wenn zunächst keine ausreichenden Informationen über die bestehenden Verhältnisse vorliegen. Die Angaben sind allerdings mit einer relativ großen Unsicherheit belastet.

Bestehende Anlagen	Durchschnittl. Investitionen je landw. Betrieb (1000 DM)	Unterhaltung (DM/a)	Erwartete Lebensdauer (a)
<u>Gülleanlage:</u>	3,5	0	15
<u>Festmistanlage:</u>			
- Containerlösung (excl. Container)	4,0	80	15
- Mischlösung	15,0	240	15
<u>Festmist- und Gülleanlage:</u>			
- Containerlösung (excl. Container)	6,5	80	15
- Mischlösung	13,5	210	15

Tabelle 14: Investitionskosten für Beladestationen einschließlich Ausgaben für Reinvestitionen und Betrieb und Unterhaltung

Wenn detailliertere Angaben über die jeweiligen Verhältnisse am landwirtschaftlichen Betrieb vorliegen, können genauere Berechnungen der erforderlichen Investitionen gemäß Tabelle 15 vorgenommen werden.

Anlagentyp	Anlagenteil	Investition 1000 DM	Unterhaltung DM/a	Lebensdauer (a)
Gülle	Saugleitung (25m)	2,8	0	20
	Container (5 * 5 m)	3,3	0	20
	Zufahrt (25 m)	2,0	30	20
	Änderung bestehender Röhreinrichtungen	1,3	60	8
Festmist (Mischung)	Saugleitung (25 m)	2,8	0	20
	Mischbehälter (30 m <sup>3</sup> )	6,2	0	20
	Jauchepumpe	1,5	30	8
	Mischeinrichtung	6,3	170	15
	Änderung bestehender Röhreinrichtungen	1,3	60	8

Tabelle 15: Investitionskosten für Abnahmestationen auf den landwirtschaftlichen Betrieben. In den Kosten für die Unterhaltung der Rührgeräte sind Ausgaben in Höhe von DM 30/a für Strom enthalten.

Die Tabelle zeigt die Investitionskosten in den ungünstigsten Fällen. Beispielsweise ist für die Mischanlage für Festmist und Jauche ein neuer 30 m<sup>3</sup> großer Mischbehälter eingerechnet, obwohl erwartet werden kann, daß der bestehende Vorbehälter in den meisten Fällen verwendet werden kann, wenn er mit einer Mischanlage und einer Zuleitung für die Jauche ausgestattet wird. Auch bei der Containerlösung muß erwartet werden, daß der bestehende Misthaufen als Abstellplatz für die Container verwendet werden kann und ein Ausbau des Fahrwegs nicht erforderlich ist.

Die erwartete technische Lebensdauer der Anlageninvestitionen geht aus Tabelle 14 hervor. Durchschnittlich ist eine Lebensdauer von etwa 15 Jahren zu erwarten.

### 3.6.4 Individuelle Güllelager

Die Anlageninvestitionen für die Errichtung von Mistplätzen geht aus Abbildung 12 hervor. Als Beispiel wurde ein Mistplatz genommen, der in 20 cm armiertem Beton mit einer 2 m hohen Ummauerung lag. Bei den Investitionskosten sind außerdem ein Ablauf zum Jauchebehälter eingerechnet sowie eine zusätzliche Jauchebehälterkapazität für die Regenwassermenge, die auf den Mistplatz fällt. Bei Verwendung eigener Arbeitskraft liegen die Gesamtkosten wesentlich geringer.

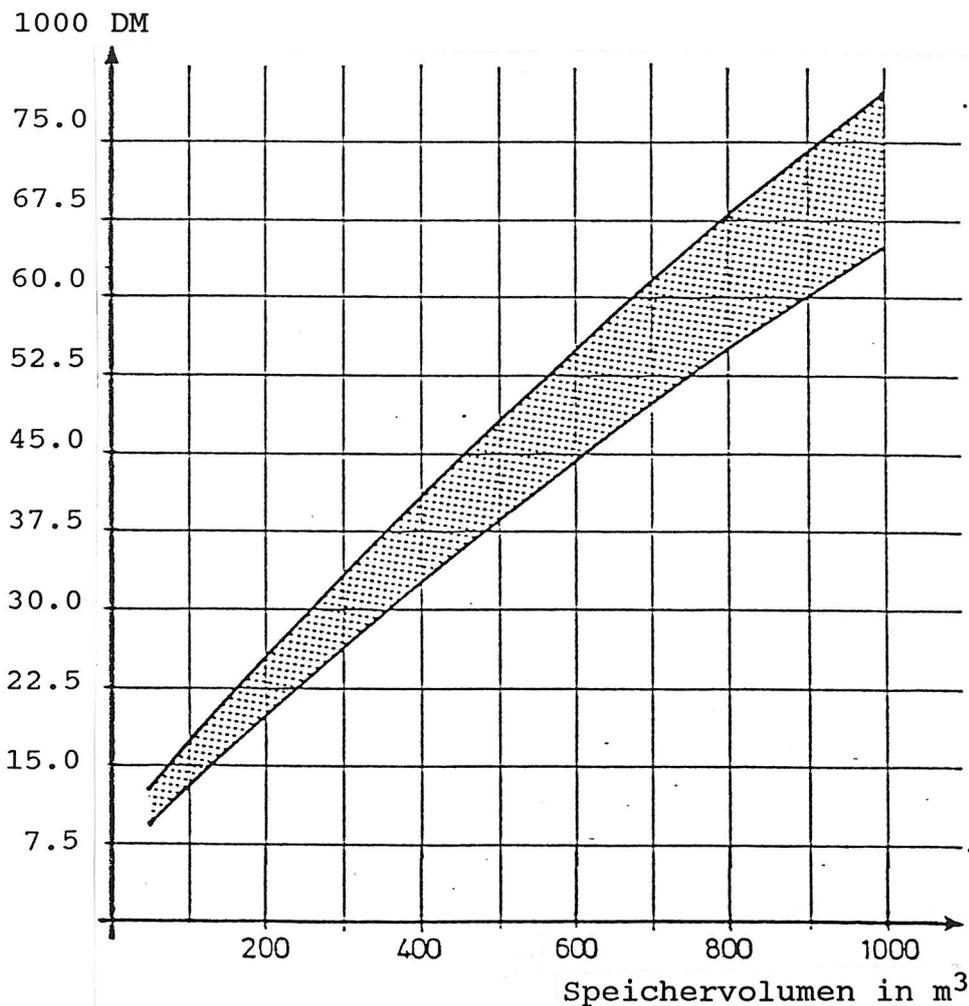


Abbildung 12: Investitionskosten für Misthaufen

Die Investitionskosten für Güllebehälter sind unter Güllelager beschrieben und gehen aus Abbildung 11 hervor. Die jährlichen Ausgaben für Betrieb und Unterhaltung für Güllelager einschließlich Reinvestitionskosten für die Umwälzausstattung machen etwa 1 % der Investitionskosten aus. Für Misthaufen rechnet man mit 0,5 % der Anlageninvestition. Die technische Lebenszeit für die Speichereinrichtungen liegen bei etwa 20 Jahren.

In Tabelle 16 sind die Kosten für die Ausbringung von Festmist und Gülle angegeben. Die Kosten gelten für die Benutzung von Güllewagen mit 8 t Nutzlast bzw. für Miststreuer mit einer Nutzlast von 6 t. Es wurde von einem Fahrweg zwischen Hof und Feld von 500 Metern ausgegangen. Für Transporte über 500 m wird ein kilometerabhängiger Preis berechnet, der ebenfalls aus der Tabelle hervorgeht. Die Preise gelten für eine Verteilung von Mengen bis hinunter zu 15 bis 17 m<sup>3</sup>/ha.

Dungart	Ausbringungs- kosten (DM/m <sup>3</sup> )	Zusätzliche Transportkosten (DM/m <sup>3</sup> /ha)
Festmist	5	1,2
Gülle und Jauche	3	0,9

Tabelle 16: Kosten für die Ausbringung von Festmist, Gülle und Jauche, wenn sie von einem Maschinenring ausgeführt werden.

### 3.7 Kosten des Kunstdüngereinsatzes

Kunstdünger wird entweder in einer pelletierten Mischung, die aus unterschiedlichen Kombinationen von Stickstoff, Phosphor oder Kalium besteht oder in Form von flüssigem Ammonium ausgebracht. Flüssiger Ammoniak wird i.d.R. auf dem Feld eingespült und beinhaltet lediglich den Nährstoff Stickstoff. Flüssiger Ammoniak wird hauptsächlich im Frühjahr vor dem

Einsäen verwendet. Die Verteilungsausgaben für flüssigen Ammoniak und für pelletiertem Kunstdünger sowie die Preise für flüssigen Ammoniak und für Stickstoff, Phosphor und Kalium in den verschiedenen Mischungsformen geht aus Tabelle 17 hervor. Die Preise für Kunstdünger variieren bedeutend. Daher sollen vor aktuellen Berechnungen die neuesten Preise eingeholt werden.

Düngerart	Preis DM/kg	Verteilungs- kosten DM/ha
Ammoniak	0,90	44
N	1,80	17
P	3,40	17
K	0,80	17

N, P und K werden als Mischungen verteilt

Tabelle 17: Einkaufspreise und Ausbringungskosten für Kunstdünger (N-Preis stark energiekostenabhängig)

#### 4. Erfahrungen mit Biogasgemeinschaftsanlagen in Dänemark

Bereits 1981 wurden in der Region Nordjütland im Rahmen des Energieprojekts "Energieversorgung in Landgemeinden" die Möglichkeiten der Entwicklung von neuen Energiesystemen für kleinere Gemeinden auf der Basis örtlich verfügbarer, erneuerbarer Energiequellen untersucht. Im Rahmen dieses Projektes wurden insgesamt drei Demonstrationsanlagen errichtet, mit denen die technische Funktionsfähigkeit von Biogasanlagen geprüft werden sollte. Die erste Anlage wurde 1984 in Vester Hjerimitslev in Betrieb genommen. Der Bau einer zweiten Anlage erfolgte 1985 in Vegger. Schließlich wurde 1987 eine weitere Anlage in Skovsgaard errichtet. Anhand dieser drei Anlagen kann die bisherige Entwicklung von Technologie und Konzeption der Biogasproduktion verdeutlicht werden.

##### 4.1 Anlage in Vester Hjerimitslev

Bei der Anlage in Vester Hjerimitslev handelt es sich um eine semi-kontinuierliche Anlage mit insgesamt drei voll durchmischten Fermentern, die ein Volumen von jeweils ca. 450 m<sup>3</sup> aufweisen. Zwei der Fermenter sind für eine mesophile Behandlung der Gülle (35° Prozeßtemperatur) ausgelegt, der dritte Fermenter für eine thermophile Behandlung (Prozeßtemperatur 55°). Zwischen dem Vorbehälter und den mesophilen Fermentern einerseits und dem thermophilen Fermenter und dem Lagerbehälter andererseits befindet sich jeweils ein Wärmetauscher.

Täglich werden ca. 50 Tonnen Biomasse aus insgesamt 13 Betrieben zugeliefert. Die Biomasse setzt sich zusammen aus:

ca. 20 Tonnen Rindergülle,  
ca. 17 Tonne Schweinegülle,  
ca. 3 Tonnen Hühnermist,  
ca. 3 Tonnen Schweinemist und zusätzlich  
ca. 4 Tonnen Schlachtereiabfällen.

Die Gasproduktion beträgt täglich ca. 1.400 Nm<sup>3</sup>, wobei ca. 20-25 % von den Schlachtereiabfällen herrühren. Der durchschnittliche Anteil an organischer Trockensubstanz (OTS) beträgt ca. 7 %.

Während des laufenden Betriebs hat es mehrere kleinere Probleme gegeben, die zwar technisch relativ einfach zu beseitigen waren, aber erhebliche Kosten verursachten. Dazu gehörte die Bildung von Sandablagerungen auf dem Reaktorboden, die zunächst durch den Einbau eines Absaugrohrs beseitigt werden sollten. Das zweite Problem betraf die Dichtheit der Fermenter, bei denen sich die Innenbeschichtung auflöste. Durch die Wahl eines anderen Dichtungsmaterials konnten die aus vorgefertigten Betonteilen zusammengesetzten Fermenter abgedichtet werden.

Zur Erzielung eines langfristig wirtschaftlichen Betriebs reichten diese Verbesserungen aber nicht aus. Zum einen mußte die Gasausbeute erhöht werden und zum anderen der Prozeßenergiebedarf gesenkt werden. Diese Verbesserungen erforderten in Vester Hjerimitslev einen umfassenden Umbau der Anlage, die der Konzeption der dritten Anlage in Skovsgaard ähnlich ist.

Die insgesamt geringer ausgefallene Gasproduktion im Verhältnis zu den ursprünglichen Berechnungen ist auch darauf zurückzuführen, daß der angestrebte Anteil an organischer Trockensubstanz von ca. 9 % nicht eingehalten werden konnte.

Die Ursache liegt in dem hohen Wassereinsatz, bei der Reinigung, wodurch die Gülle bei Lieferung zur Biogasanlage entsprechend verdünnt wird. Dieses Problem wirft grundsätzlich die Frage nach den Transportkosten auf, das aber erst in der weiteren Entwicklung (siehe Punkt 4.4) diskutiert wird.

#### **4.2 Anlage in Vegger**

Diese Anlage wurde unmittelbar im Anschluß an die Anlage in Wester Hjerimitslev in Betrieb genommen, so daß die dort gesammelten Erfahrungen bei der Projektierung noch nicht berücksichtigt werden konnten. Diese Anlage weist ein völlig anderes Betriebskonzept auf. Es handelt sich hier um eine kontinuierlich arbeitende Anlage mit jeweils zwei Haupt- und zwei Nachgärkammern mit einem Volumen von jeweils zweimal 230 m<sup>3</sup> bzw. zweimal 115 m<sup>3</sup>. Die Anlage besaß zunächst keine elektrischen Rührwerke, da die Verwirbelung der Schwimmdecke und des Sediments durch die Gasverdrängungsprozesse erfolgen sollte. Die Fermenter sind ausschließlich für einen thermophilen Betrieb ausgelegt. Täglich sollten ca. 50 und 55 t Biomasse zugeführt werden, die sich je zur Hälfte aus Rindergülle und Schweinegülle zusammensetzt.

Anders als bei der Anlage in Vester Hjerimitslev hat es hier erhebliche technische Schwierigkeiten gegeben, die eine Gasproduktion in den ersten Betriebsjahren kaum zuließen. Es handelte es sich hier in erster Linie um Steuerungsprobleme, da es nicht gelang den Gärprozeß ständig in Gang zu halten. Im Gegensatz zur mesophilen Gärung erfordert das thermophile Verfahren eine sehr genaue Einhaltung der Gärtemperatur sowie eine ständige Kontrolle der Biomasse. Die thermophilen Bakterienkulturen reagieren sehr empfindlich auf verschiedene

Verunreinigungen und plötzliche Veränderungen der Zusammensetzung der Biomasse.

Neben diesen, für die Konzeption der thermophilen Anlage spezifischen Probleme, gab es einzelne kleinere technische Schwierigkeiten. Zum einen war die Mischleistung der Gasdifussion nicht ausreichend, um Schwimmdecken und Sedimente aufzurühren, so daß elektrische Rührwerke nachgerüstet wurden. Zum anderen gab es insbesondere Probleme mit eingesetzten Mantelrohrwärmetauschern, die durch die in Vester Hjerimitslev erprobten Wärmetauscher ersetzt wurden. Die Anlage wird z.Z. nur noch mit Rindergülle beschickt. Zusätzlich werden 2 % lehmartige Mineralstoffe (mineralische Abfallprodukte aus der Erdölherstellung) zugegeben, was den Gärprozeß stabilisiert und die Gasqualität (Methananteil 70 %) verbessert hat.

#### **4.3 Anlage in Skovsgaard**

Bei der dritten in Dänemark gebauten Biogasgemeinschaftsanlage konnten die Erfahrungen der beiden ersten Anlagen genutzt werden. Verbesserungen wurden sowohl im biologischen Teil als auch bei der Energieeffizienz der Anlagen insgesamt (Prozeßenergiebedarf) erzielt. Bei der Anlage in Skovsgaard handelt es sich um eine kontinuierliche Anlage mit zwei voll durchmischten Fermentern mit einem Volumen von jeweils 600 cbm. Diese Fermenter sind für einen mesophilen Betrieb ausgelegt. Ihnen vorgeschaltet ist eine thermophile Vorbehandlung. Durch die thermophile Vorbehandlung wird eine erhebliche Verbesserung im Hydrolysebereich erreicht, sodaß die Gasausbeute insgesamt erhöht werden konnte.

Durch den Einbau von zwei Zwischenbehältern und entsprechenden Wärmetauschern konnte der Prozeßenergiebedarf gesenkt werden.

Insgesamt werden täglich ca. 75 t Biomasse aus insgesamt elf landwirtschaftlichen Betrieben zugeführt. Darunter fallen ca. 3 t/täglich aus einer Pelztierfarm. Zusätzlich ist die Beimischung von ca.10-15 t Klärschlamm am Tag geplant. Problematisch ist das Fehlen von verschiedenen Vorbehältern für die Güllen und die anderen Abfallstoffe, um das Mischungsverhältnis in der thermophilen Vorbehandlung optimieren zu können.

Diese Anlagenkonzeption wird auch in weiteren Anlagen in Dänemark angewendet, so z.B. in Davinde bei Odense. Die nächste Entwicklungsstufe wird sich, soweit dies absehbar ist, auf eine Minimierung der Transportkosten beziehen.

#### 4.4 Weiterentwicklung der Anlagen

Hier gibt es mehrere Entwicklungslinien, die durchaus gegensätzliche Tendenzen beinhalten. Während eine Richtung versucht, die Technik weiter zu vereinfachen und die aufgetretenen Probleme u.a. durch ökonomische Steuerungsmechanismen zu lösen, setzt eine andere Richtung auf eine Verbesserung der technischen Effizienz. Ein typisches Beispiel stellt die Bewältigung des Problems des hohen Wassergehaltes der Gülle dar.

Zunächst in der Vorstufe befindet sich eine Versuchsanlage in Sjölund in Mitteljütland. Dort wird versucht, durch Trennung der Gülle in einen flüssigen und einen festeren Bestandteil das Transportvolumen um etwa 85 % zu reduzieren. Die dünne Fraktion mit einem Volumenanteil von 85 % und einem verblei-

bendem Anteil an organischer Trockensubstanz von ca. 1-2 % soll am landwirtschaftlichen Betrieb in einer Durchflußanlage (Biofilm- bzw. Biofilteranlage) behandelt werden. Dieser Anlagentyp zeichnet sich durch eine besonders hohe spezifische Gasausbeute bezogen auf das Fermentervolumen aus. Die dünne Fraktion ist auch unbehandelt wesentlich weniger aggressiv als der dickflüssigere Teil. Sie kann daher unmittelbar zur Kopfdünnung in der Wachstumsphase eingesetzt werden.

Die dickflüssige Fraktion mit einem Volumenanteil von 15 % weist ein Anteil an organischer Trockensubstanz von etwa 15-17 % auf. Neben der Verminderung des Transportvolumens wird dadurch gleichzeitig eine deutliche Verminderung des Fermentervolumens möglich. Beides hat erhebliche Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit. Es wird davon ausgegangen, daß die spezifischen Gasgestehungskosten um etwa 40 % gesenkt werden können. Sie dürften dann im günstigsten Fall bei ca. 40 Pfennig je cbm Methan liegen.

Den verringerten Transportkosten stehen eine Reihe von organisatorischen und auch wirtschaftlichen Problemen gegenüber. Zum einen bedarf es zusätzlicher Technik, und zum anderen sind beispielsweise getrennte Lagerbehälter für die behandelte und die separierte Gülle auf dem landwirtschaftlichen Betrieb erforderlich.

#### **4.5 Organisation der technologischen Weiterentwicklung**

Nachdem die bereits erwähnten Anlagen in Nordjütland im Rahmen eines regionalen Entwicklungsprogramms entstanden waren, wurde zur Durchführung der beiden nationalen Umweltpläne ein weiterer Aktionsplan "Biogasgemeinschaftsanlagen" ins Leben gerufen. Ziel des Aktionsplanes war bzw. ist

es, die technischen und ökonomischen Bedingungen eines landesweiten Ausbaus von Biogaseinschaftsanlagen zu klären.

Der Aktionsplan besteht aus einem Versuchs- und Demonstrationsprogramm, in das die bestehenden Anlagen in Nordjütland mit einbezogen sind, das aber auch den Bau weiterer Gemeinschaftsanlagen umfaßt (s. Abbildung 12). Parallel zu der Errichtung der Anlagen wird ein Auswertungsprogramm durchgeführt, das die landwirtschaftlichen, umweltmäßigen und energetischen Vor- und Nachteile von Biogaseinschaftsanlagen im Verhältnis zu anderen Lösungen beleuchtet. Schließlich beinhaltet der Plan umfangreiche Informations- und Forschungsaktivitäten. Der Plan teilt sich in insgesamt drei verschiedene Phasen auf, wobei die erste Phase, nämlich die Beurteilung der verschiedenen Projektvorschläge zur Errichtung von Biogasanlagen inzwischen abgeschlossen ist. Dabei wird ein Auswertungsprogramm auf der Grundlage der existierenden und beschlossenen Anlage aufgelegt.

In einer Phase zwei ab 1988 werden innerhalb von 2 Jahren die neuen Demonstrationsanlagen errichtet und das Auswertungsprogramm auf deren Betriebsphase erweitert. In dieser Phase sind verstärkte Koordinationsarbeiten zu den Energieplanungsarbeiten in den Kreisen und Gemeinden erforderlich.

Ende 1989 sollen alle Demonstrationsanlagen in Betrieb sein. In Abhängigkeit von den erzielten Ergebnissen kann das Auswertungsprogramm die Grundlage für eine Beschleunigung oder Verzögerung für die Errichtung von weiteren Biogasanlagen zum Ziele der Energieproduktion und des Umweltschutzes gemacht werden.

Abbildung 12: Bestehende und geplante Biogasgemeinschaftsanlagen in Dänemark (Stand Ende 1988)



## 5. Organisationsformen

Der Versuch, die dünnflüssige Fraktion der Gülle zu separieren, liegt in der Tatsache begründet, daß die landwirtschaftlichen Betriebe durch Wasserzuführung (etwa bei Stallreinigung) die Normanteile an organischer Trockensubstanz in der Gülle z.T. wesentlich unterschreiten. Eine andere Möglichkeit eine unnötige Verdünnung zu vermeiden besteht in einer entsprechenden vertraglichen Regelung. In Anlehnung an die Praxis von Strohlieferungsverträgen, bei denen der vergütete Preis vom Feuchtigkeitsanteil abhängig gemacht wird, kann der Ankaufspreis von Gülle von dem jeweiligen Trockensubstanzanteil abhängig gemacht werden.

Ein entsprechendes Abrechnungsverfahren wurde bei den bisherigen Anlagen bisher nicht vereinbart. Hier erhalten die Landwirte i.d.R. genau die Menge an Gülle zurück, die sie eingeliefert haben. In bestimmten Fällen bestehen besondere Verträge zur Übernahme von Gülle durch andere landwirtschaftliche Betriebe, z.B. wenn der Grenzwert von 2 GVE je ha landwirtschaftliche Nutzfläche nicht eingehalten werden kann.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, daß solche einfachen vertraglichen Regelungen nicht ausreichen, um den Betrieb einer Biogasanlage angemessen zu organisieren. Angesichts der möglichen Schnittstellen bieten sich mehrere Organisationsmodelle an.

Grundsätzlich sind bei Biogasgemeinschaftsanlagen mindestens 2 Organisationen notwendig: einmal der Energieabnehmer und zum anderen eine Güllelieferanten- und -abnehmegemeinschaft. Als besonders günstig hat sich folgende Aufteilung erwiesen: Der Energieabnehmer, in der Regel ein Versorgungsunternehmen,

übernimmt Bau und Betrieb der Biogasanlage, der dezentralen Güllelager sowie ggfs. der neuen Kraftwerksanlage.

Die Lieferanten- und -abnehmegemeinschaft ist verantwortlich für

- den Kauf, Betrieb und Unterhaltung der Transportgeräte,
- den Transport von und zur Biogasanlage,
- die Lieferung einer ausreichenden Menge an Biomasse und
- die Abnahme von Überschußmengen sowie
- die Zahlung der Miete der dezentralen Lagerkapazitäten.

Die Lieferanten- und -abnehmegemeinschaft verpflichtet sich zur täglichen Lieferung einer bestimmten Biomassemenge und garantiert einen durchschnittlichen Anteil an organischer Trockensubstanz. Der Energieabnehmer, d.h. das Versorgungsunternehmen zahlt einen vereinbarten Preis je Tonne gelieferter organischer Trockensubstanz.

Dieses System soll die Lieferungen von Material mit ausreichendem Anteil organischer Trockensubstanz sichern und die Lieferantenvereinigung motivieren, einen möglichst hohen organischen Trockensubstanzanteil zu erzielen.

Die Lieferanten- und -abnehmegemeinschaft zahlt eine Lagermiete für die dezentralen Lager an das Versorgungsunternehmen. Die Lagermiete wird entsprechend der Investitionskosten festgesetzt (ca. 2,50 DM je cbm).

Trotz dieser Bezahlung für den Rohstoff Gülle kann bei einer geplanten Anlage ein Gasgestehungspreis von ca. 45 - 50 Pf/m<sup>3</sup> erreicht werden, der noch unter dem anlegbaren Heizölpreis incl. Energieabgabe liegt.

Die Lieferanten- und -abnehmegemeinschaft muß nach diesem Modell für die Transportkosten aufkommen und eine Lagermiete entrichten. Darüber hinaus zahlt sie den Landwirten für die angenommene Gülle einen bestimmten Betrag, der in Abhängigkeit von der gelieferten Qualität (gemessener Trockensubstanzanteil) steht. An Einnahmen versucht Gemeinschaft einerseits die Zahlungen des Versorgungsunternehmens für die zugeführte Trockensubstanz und andererseits den Verkaufspreis der entgasten Gülle an die Landwirte, der sich am Einkaufspreis für die entsprechende Kunstdüngermenge abzüglich der jeweiligen Transport- und Ausbringungskosten orientiert.

Da in Vester Hjerimitslev keine Abnehmergenossenschaft gegründet wurde, muß das Versorgungsunternehmen, das die Biogasanlage betreibt, mit jedem Einzellieferanten verhandeln. Auch ein Mindestanteil organischer Trockensubstanz war nicht festgelegt worden. Ursprünglich mußte die Energiegesellschaft den Landwirten Lagermiete für Gülle auf den Höfen zahlen. Darüber hinaus erhielten die Landwirte einen bestimmten Betrag für das Ausbringen der Gülle auf den Feldern. Für die Lieferanten von Festmist war die Lagerung der entgasten Gülle im Gemeinschaftslager der Biogasanlage umsonst, ebenso wie der Rücktransport auf deren Felder.

Die diesem Verfahren zugrundeliegenden Verträge wurden mit dem Ziel neu verhandelt, sämtliche Vergünstigungen der Landwirte zurückzunehmen und eine Miete für die Nutzung des Güllelagers an der Biogasanlage von den Landwirten zu erheben.

Die Änderungen der Abrechnungspraxis hängt mit den zwischenzeitlich in Kraft getretenen Umweltschutzvorschriften zusammen, deren Erfüllungen gemäß dem Verursacherprinzip den Landwirten ohnehin die Investitionskosten für die Errichtung der Güllelager auferlegt.

## 6. Rahmenbedingungen der Biogasentwicklung in Dänemark

### 6.1 Rechtliche Grundlagen

Eine im Dezember 1986 im Rahmen eines Nitrat-Phosphat-Umweltplans (NPO-Plan) vom Mai 1985 beschlossene Gülleverordnung sieht vor, daß landwirtschaftliche Betriebe mit mehr als 20 GVE Lagerkapazitäten für tierische Abfälle für mindestens 6 Monate nachzuweisen haben. Die Gülleverordnung verbietet weiterhin das Ausbringen flüssiger Nährdünger zwischen der Ernte und Mitte Oktober. Eine weitere Regelung dieser Verordnung besagt, daß landwirtschaftliche Betriebe mit mehr als 2 GVE je ha landwirtschaftlicher Nutzfläche ein Nachweis über die Verwendung der überschüssigen tierischen Abfälle führen müssen.

Daneben legte der Umweltminister im Oktober 1986 einen Plan zur Verminderung der Meeresverschmutzung vor. Daraufhin wurde im November 1986 die Regierung vom dänischen Parlament aufgefordert, bis Februar 1987 ein Gesamtplan vorzulegen, der die notwendigen Maßnahmen zur Verminderung der Einbringung von Stickstoffverbindungen um 50 % und von Phosphorverbindungen um 80 % innerhalb der drei nächsten Jahre darlegt und die Investitionen hierfür ermittelt.

Dieser Plan wurde im Januar 1987 vom Umweltministerium vorgelegt. Für die Landwirtschaft wurde darin vorgeschlagen, daß die Auswaschung von Stickstoffen um 49 % und von Phosphor um 91 % reduziert wird. Gegenüber dem ursprünglichen NPO-Plan bedeutete dies eine Verdoppelung. Die Reduzierung der Mengen um insgesamt 127 000 Tonnen jährlich (gegenüber 55 000 Tonnen). Einen wesentlichen Beitrag hierfür sollten Programme zur Verbesserung der Düngeanwendung sowie die Einführung von sogenanntem Dauergrünland (Grünbrachen) leisten.

Auf der Grundlage dieses - gegenüber dem ursprünglichen NPO-Plan - wesentlich verschärften Meeresgewässerplans beschloß das dänische Parlament im April 1987 mehrere Einzelforderungen. Diese Präzisierung des Meeresumweltplans beinhalteten eine Befreiung von der Pflicht zur Errichtung von Lagerkapazitäten für landwirtschaftliche Betriebe unter 30 GVE. Dagegen sollten alle landwirtschaftlichen Betriebe mit mehr als 30 GVE eine Lagerkapazität von insgesamt 9 (statt bisher 6) Monaten errichten. Die Frist für die Errichtung dieser Lagerkapazitäten wurde vom 1. Januar 1990 auf Ende 1992 verlängert.

Im Dezember 1986 beschloß das dänische Parlament zusätzlich ein Gesetz zur Förderung von Umweltschutzinvestitionen in kleineren landwirtschaftlichen Betrieben. Dieses Gesetz regelt den Zugang zu staatlichen Zuschüssen für Investitionen in Lagerkapazitäten und Transportgeräte.

Darüber hinaus beinhaltet dieses Gesetz (§ 22) eine Bestimmung, wonach die kommunalen Behörden eine Bestandsaufnahme der örtlich anfallenden Güllemengen durchführen sollen. Auf Grundlage dieser Bestandsaufnahme wird die Gemeinde eine Empfehlung für die Errichtung von gemeinsamen Lagerkapazitäten und Biogasgemeinschaftsanlagen abgeben. Außerdem beinhaltet der Plan die Überlegungen der Gemeinde bezüglich der Errichtung kommunaler Biogasgemeinschaftsanlagen und ihre Einpassung in die Wärmeversorgungsplanung der Gemeinde.

Eine stärkere Einbeziehung lokaler Energieträger im Rahmen der gemeindlichen Wärmeversorgungsplanung wurde bereits im März 1985 durch einen Erlaß des Energieministeriums geregelt. Dieser Erlaß verpflichtet die Gemeinden im Rahmen ihrer Wärmeversorgungsplanung, kohlebefeuerte Heizwerke für die Versorgung solcher Gebiete aus der Planung zu nehmen, in

denen eine Möglichkeit für die Nutzung örtlicher Energiequellen (z. B. Biogas) besteht. Eine Einbeziehung erneuerbarer Energiequellen in die Ausbauplanung mit dezentralen Heizkraftwerken aufgrund einer Vereinbarung der dänischen Regierung mit der Elektrizitätswirtschaft wurde durch einen Erlass vom 28. Januar 1988 geregelt. Hiernach sind zunächst von den Landkreisen Standortvorschläge für Heizkraftwerke aufzulisten.

## 6.2 Finanzielle Förderung

Zur Durchführung des Aktionsplans wurde eine Kommission mit Vertretern aus Verwaltung, Forschung und Industrie eingesetzt, der die Aufgabe zukommt, Anträge zur Förderung von Biogasgemeinschaftsanlagen fachlich zu beurteilen. Im Rahmen des Aktionsplans wurden bisher zusätzlich zu den drei bestehenden Anlagen zwei Anlagen neu gefördert. Für vier weitere wurde die Bezuschussung der Detailprojektierung gebilligt. Insgesamt lagen dem Ausschuss bisher über 20 Anträge auf Bezuschussung von Anlagen bzw. Projekten vor.

Zur Finanzierung der Förderung stehen aus dem Förderungsprogramm zur Förderung erneuerbarer Energiequellen jährlich ca. 10 Mio. DM zur Verfügung. Darüber hinaus können im Rahmen des bereits erwähnten Förderungsprogramms für Umweltinvestitionen Zuschüsse zu den Lagerkapazitäten geleistet werden. Diese Zuschüsse sind abhängig von dem Viehbesatz der landwirtschaftlichen Betriebe und der zu errichteten Lagerkapazität. Sie schwanken zwischen 20 und 45 %.

Schließlich wurden durch sogenannte indexregulierte Kredite die Finanzierungsbedingung für die Anlagen verbessert. Die indexregulierten Kredite bedeuten geringere Anfangsbelastung

sowie eine Verstetigung der Erzeugungskosten aufgrund einer jährlichen Inflationsbereinigung.

Das erzeugte Biogas soll in den meisten Fällen in Heizkraftwerken angewendet werden. Bei einzelnen Anlagen wird geprüft, inwieweit das Biogas direkt in das Erdgasnetz eingespeist und darin verteilt werden kann.

Bei der Stromproduktion wird ein Teil der Stromabgabe in Höhe von ca. 6 Pf/kWh an den Betreiber der Anlage zurückerstattet. Für die Einspeisung ins elektrische Netz wurde von den Stromversorgungsunternehmen eine besondere Regelung der Einspeisevergütungen entwickelt, die das von den Windkraftanlagen her bekannte Prinzip einer Pauschalabrechnung (85 % des jeweiligen Haushaltstarifs) stärker differenziert und die Möglichkeiten einer Leistungspreisvergütung mit einschließt.

### 6.3 Weitere Forschungsaktivitäten

In einem begleitenden Forschungsprogramm werden in mehreren Bereichen mehrere Projekte durchgeführt. Im ersten Bereich werden Modellstudien bezüglich der Überlebensfähigkeit von Viren, Bakterien und Parasiten in Gülle unter traditioneller Aufbewahrung bzw. bei Behandlung in Biogasanlagen untersucht. Auf Grundlage der erzielten Resultate und des bereits vorhandenen Wissens wird ein Beratungsprogramm entwickelt.

Ein zweiter Forschungsbereich betrifft die Ermittlung des Düngewertes, sowie die Handhabung und Ausbringung der Gülle. Dabei wird u. a. das Ausmaß der Stickstoffauswaschung bei verschiedenen Ausbringungszeiträumen für behandelte und unbehandelte Gülle untersucht. Ein weiteres Teilprojekt berührt die Separation von Gülle. Hier werden Anlagen und

Methoden zur Trennung der Gülle in feste und flüssige Fraktionen untersucht.

Schließlich werden noch verschiedene Einzelprojekte u. a. über die Eignung getrennt eingesammelten Hausmülls als ergänzender Rohstoff für Biogasanlagen durchgeführt.