

Institut für Energetik und Umwelt
gemeinnützige GmbH



Kurzstudie

Beurteilung von Biogasanlagenparks im Vergleich zu Hof-Einzelanlagen

erstellt für die Deutsche Umwelthilfe e.V., Berlin

Bearbeitung:

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH

Torgauer Straße 116

04347 Leipzig

www.ie-leipzig.de

Dr.-Ing. Frank Scholwin Frank.Scholwin@ie-leipzig.de

Öko-Institut e.V.

Rheinstraße 95

D-64295 Darmstadt

www.oeko.de

Uwe R. Fritsche u.fritsche@oeko.de

Weitere Bearbeiter:

Jaqueline Daniel, Frank Hofmann, Michael Seiffert, Elmar Fischer (IE)

Kirsten Wiegmann, Öko-Institut

Darmstadt/Leipzig, Februar 2007

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	III
Hintergrund und Zielstellung	1
Teil A: Biogaspark vs. Einzelhofanlage	2
1 Vorgehensweise	2
1.1 Einzelhofanlagen	3
1.2 Biogasparkanlagen	3
1.3 Themenfelder	3
2 Anlagenemissionen	4
2.1 Emissionen von Treibhausgasen	4
2.2 Emission von Geruchsstoffen	4
2.3 Lärmemissionen	6
3 Substratbeschaffung und Logistik	7
3.1 Substratbeschaffung	7
3.2 Logistik	9
4 Emissionen durch Transporte	10
4.1 Lärmbelastungen	10
4.2 Luftschadstoffemissionen durch Transporte	12
5 Betriebssicherheit der Anlagen	13
6 Energetische Aspekte	14
6.1 Eigenstromverbrauch	14
6.2 Gasnutzung	14
7 Gärrestnutzung	15
8 Energie- und Klimabilanzen	18
9 Politische und ethische Fragestellungen	20
9.1 Landwirt als Substratlieferant	20
9.2 Einfluss Substratanbau (Monokulturen, Fruchtfolgen)	20
9.3 Einfluss Gentechnik	21
9.4 Tierschutz	22
10 Fazit zu Teil A	23
10.1 Vorteile der Biogasparkanlagen gegenüber Einzelhofanlagen	23
10.2 Nachteile der Biogasparkanlagen gegenüber Einzelhofanlagen:	23

Teil B: Optimierter Biogasanlagenpark	26
1 Beschreibung optimierter Biogasparkanlagen (Großanlage)	26
1.1 Fermenterauslegung	27
1.2 Gasnutzung	28
2 BHKW-Dimensionierung	29
2.1 Wirkungsgrad	29
2.2 Teillastverhalten	30
3 Gasnutzung der Biogas-Großanlage	31
4 Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität	32
5 Bereitstellung von Spitzenstrom	35
6 Energie- und Klimabilanzen	36
7 Fazit zu Teil B	37
Literaturverzeichnis	38
Abkürzungsverzeichnis	39
Anhang: Protokoll - Anlagenbesichtigung Penkun	40

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1:	Treibhausgasemissionen der Strom- und Wärmeerzeugung aus Biogas für verschiedene Anlagenvarianten, modifiziert nach /4/.....	18
Abbildung 2:	Verluste unvergorener organischer Substanz bei volldurchmischtem Rührkessel und der Vergärung von Roggenschrot (nach Görlich/Helm /1/)	28
Tabelle 1:	Substrateinsatz der Biogasparkanlagen in Penkun.....	7
Tabelle 2:	Anzahl der Fahrten	8
Tabelle 3:	Hektarbedarf einer einzelnen Biogasanlage	8
Tabelle 4:	Transportentfernungen im Vergleich (idealisiert)	8
Tabelle 5:	Durchschnittliche Transportentfernungen im Vergleich.....	9
Tabelle 6:	Emissionsbilanz der Transporte (nur direkte Emissionen).....	12
Tabelle 7:	Kumulierter Energieaufwand (KEA) für die substituierten N-, P- und K-Düngermengen je Parkanlagenmodul /9/	17
Tabelle 8:	Emissionsbilanz der Düngemittelbereitstellung je Parkanlagenmodul.....	17
Tabelle 9:	Fermenterauslegung.....	27
Tabelle 10:	Zusammensetzung von Biogasen im Vergleich zu Erdgas.....	33

Hintergrund und Zielstellung

Bei der Inbetriebnahme von Biogasanlagen zur Strombereitstellung ist seit dem Start des Marktanreizprogramms (MAP) und dem Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) bis zu seiner Novellierung Mitte 2004 eine kontinuierliche Zunahme zu verzeichnen. Seit 2005 erfolgte ein deutlicher Zubau von Biogasanlagen insbesondere im größeren Leistungsbereich, wodurch die durchschnittliche Anlagenleistung anstieg. Ende 2005 befanden sich etwa 2700 Biogasanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von rd. 665 MW_{el} in Betrieb. Die durchschnittliche installierte Anlagenleistung betrug etwa 250 kW_{el}.

An der zunehmenden Leistungsgröße der Biogasanlagen ist das steigende Interesse an sog. Biogasanlagenparks erkennbar, die eine Vielzahl von Biogasanlagen im mittleren Leistungsbereich (z. B. 500 kW_{el}) umfassen und eine gesamte installierte Anlagenleistung von mehreren MW_{el} erreichen. So ist in Mecklenburg-Vorpommern bereits ein Biogaspark mit einer Leistung von 2,5 MW_{el} (5 Anlagen á 500 kW_{el}) in Betrieb und weitere mit bis zu 20 MW_{el} (40 Anlagen á 500 kW_{el}) in Bau und Vorbereitung. Vergleichbare Aktivitäten sind auch in anderen Bundesländern zu verzeichnen.

Dieser Trend zeigt deutlich das gestiegene Interesse von Akteuren aus Branchen außerhalb der Landwirtschaft und der Abfallwirtschaft an der Biogaserzeugung. Sowohl inländische als auch ausländische Investoren (Energieversorger, Kreditinstitute, Privatinvestoren, Fondsgesellschaften) sind deutlich verstärkt im Markt aktiv, was zu einem erheblichen Investitionsschub in die Biogastechnologie führt.

Die Deutsche Umwelthilfe e.V. hat das Institut für Energetik und Umwelt gGmbH beauftragt, die derzeit geplanten Biogasanlagenparks unter ökologischen Gesichtspunkten zu beurteilen, wobei keine Standortanalyse erfolgt, sondern die Biogasanlagenparks im Allgemeinen betrachtet werden. Die Bearbeitung dieser Kurzstudie erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Öko-Institut e.V.

Ziel ist, die Auswirkungen abzuschätzen und zu beurteilen, die mit der Errichtung und dem Betrieb derartiger Biogasparke im Vergleich zu Einzelbiogasanlagen verbunden sind. Im Hinblick auf den weiteren Zubau von Biogasanlagen insbesondere im größeren Leistungsbereich könnte der Anteil der Stromerzeugung aus Biogas auf diese Weise deutlich steigen. Inwiefern der Ausbau von Biogasanlagenparks unter den Aspekten der Nachhaltigkeit und des Klimaschutzes gerechtfertigt ist, soll wesentlicher Bestandteil der Betrachtung sein.

Die Kurzstudie ist in zwei Abschnitte unterteilt:

- Teil A untersucht eine große Biogas-Parkanlage mit 20 MW_{el} Gesamtleistung am Beispiel der Planung für Penkun im Vergleich zu 40 mittleren Einzelhofanlagen mit jeweils 0,5 MW_{el}
- Teil B untersucht, welche ökologischen Optimierungsmöglichkeiten für große Biogas-Parkanlagen bestehen und entwickelt eine entsprechend optimierte Konzeption.

Teil A: Biogaspark vs. Einzelhofanlage

1 Vorgehensweise

Im ersten Teil der Kurzstudie werden relevante Themenfelder und Zielkonflikte identifiziert sowie mögliche Synergieeffekte bzw. Vor- und Nachteile von Biogasanlagenparks im Vergleich zu Einzelbiogasanlagen dargestellt und bewertet.

Für die ökologische Betrachtung von Biogasanlagen in Form eines Biogasanlagenparks größerer Anlagenleistung ist der Vergleich zu einzelnen Biogasanlagen (hier: *Einzelhofanlagen*) maßgebend. Daher werden in die ökologischen Auswirkungen betrachtet, die eine einzelne Biogasanlage eines Biogasanlagenparks (*Biogasparkanlage*) im Vergleich zur Einzelhofanlage gleicher Anlagenleistung aufweisen.

Derzeit existieren nur wenige Biogasanlagenparks, in der Leistungsgröße von 20 MW_{el} befindet sich derzeit ein Biogaspark in Penkun/Mecklenburg-Vorpommern im Bau. Da die Beurteilung von Anlagenkonzepten nur unter standortspezifischen Rahmenbedingungen (Leistungsgrößen Einsatzmaterialien, Technik u. a.) erfolgen kann, wurde dieser Biogasanlagenpark stellvertretend betrachtet.

Das Anlagenkonzept für den Biogasanlagenpark in Penkun sieht 40 Einzelbiogasanlagen mit je 500 kW_{el} vor. In dieser Leistungsgröße lassen sich Biogasanlagen derzeit nur modular realisieren und finanzieren¹.

Das novellierte EEG gewährt Anlagenbetreibern für die Einspeisung von Strom aus Erneuerbaren Energien neben der Vergütung eines Mindestvergütungssatzes (Grundvergütung) einen leistungsgestaffelten NawaRo-Bonus für den ausschließlichen Einsatz naturbelassener Biomasse (z. B. Gülle, Maissilage). Dieser Bonus ist für Anlagenleistungsgrößen bis 5 MW_{el} vorgesehen. Demzufolge erhalten Anlagenkonzeptionen über 5 MW_{el} Leistung keinen NawaRo-Bonus für den eingespeisten Strom mehr, sondern lediglich die Grundvergütung. Die EEG-Vergütungen für Anlagenkonzeptionen über 5 MW_{el} erlauben derzeit jedoch keine wirtschaftliche Darstellung derartiger Großanlagen zur Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen, die nur für die Biogasanlage angebaut wurden. Dies hat zur Folge, dass zur Produktion von beispielsweise 20 MW_{el} Strom nicht unbedingt die technisch und ökologisch sinnvollste Variante realisiert wird, sondern die Anlagen in kleinere Module aufgeteilt werden.

Im Folgenden werden die Anlagensysteme, die der Betrachtung zu Grunde gelegt werden, im Überblick dargestellt.

¹ Allerdings gibt es aufgrund der größeren Anlagenleistung an einem Standort Optimierungsmöglichkeiten, die bei der ökologischen Bewertung von Biogasanlagenparks mit mehreren Einzelbiogasanlagen Berücksichtigung finden müssen. Aus diesem Grund wird im Anschluss des Vergleiches Einzelhofanlage und Biogasparkanlage zusätzlich ein Biogasanlagenpark betrachtet, der im Gegensatz zum Anlagenkonzept in Penkun entsprechend der Anlagenleistung größere Fermenter- und BHKW-Module als optimiertes Anlagenkonzept vorsieht. (vgl. Teil B).

1.1 Einzelhofanlagen

Im Vergleich zum Biogasanlagenpark stehen die Einzelhofanlagen verteilt im Bundesgebiet. Die typische Leistung beträgt 500 kW_{el}; der elektrische Wirkungsgrad des BHKW beträgt 38 % bei 8.000 Betriebsstunden pro Jahr. Zum Vergleich mit einer großen Biogas-Parkanlage wird mit 40 Einzelhofanlagen gerechnet.

Typisch ist derzeit für Neuanlagen eine Wärmenutzung von etwa 15 - 30 %, z. B. für Stall und Wohngebäude. Der Substratbezug erfolgt innerhalb eines Einzugsgebiets von 5-10 km um die Einzelhofanlage.

Die Gärrestaubsbringung (ohne Aufbereitung/Separation) erfolgt im direkten Umkreis der Einzelhofanlagen. Das Gärrestlager ist abgedeckt bzw. der Nachgärer gasdicht ausgeführt.

1.2 Biogasparkanlagen

Es stehen 40 Einzelanlagen mit je 500 kW_{el} zentral an einem Standort (Biogasanlagenpark), die technischen Daten der BHKW entsprechen denen der Einzelhofanlagen. Eine Substitution fossiler Energieträger durch Abwärmeverwertung ist möglich und wünschenswert. Aufgrund der größeren anfallenden Wärmemenge an einem Standort im Vergleich zur Einzelhofanlage bestehen andere – oft bessere - Möglichkeiten der Wärmenutzung. Andererseits liegen Biogasanlagen in strukturschwachen Regionen, in denen Wärmesenken nur sehr begrenzt vorhanden sind.

Im Anlagenkonzept Penkun ist eine Gärrestaubsbereitung vorgesehen, wozu die Abwärme der BHKW genutzt werden. Die Gärreste werden zu Düngemitteln aufbereitet, die Mineraldünger am Markt ersetzen. Der Herstellung der Düngemittel können somit die Aufwendungen der Mineraldüngerherstellung gutgeschrieben werden.

Aufgrund des erhöhten Substratbedarfs von 40 Anlagen gegenüber einer Einzelhofanlage ist ein größerer Einzugsbereich für die Substratbeschaffung erforderlich, wodurch sich die Transportwege sowohl für NawaRo als auch für den Gülleeinsatz im Vergleich zu Einzelhofanlagen erhöhen.

1.3 Themenfelder

In dieser Kurzstudie werden die Themenfelder diskutiert und dargestellt, die für den Vergleich der betrachteten Anlagensysteme von Bedeutung sind.

Im Einzelnen geht es um

- Anlagenemissionen (Treibhausgase, Geruch, Lärm)
- Substratbeschaffung und Logistik sowie Emissionen durch Transporte (Lärm, Luftschadstoffe)
- Betriebssicherheit der Anlagen (Störfälle und Leckagen), energetische Aspekte (Eigenstromverbrauch, Gasnutzung) und Gärrestnutzung
- Energie- und Klimabilanzen sowie politische und ethische Fragen

Diese Themen werden in den folgenden Abschnitten näher diskutiert.

2 Anlagenemissionen

Zu den möglichen Emissionen im laufenden Betrieb einer Biogasanlage gehören

- Emissionen von klimawirksamen Gasen
- Emissionen von geruchsintensiven Stoffen
- Emissionen von Lärm

Neben dem störungsfreien Betrieb können außerdem Störfälle wie Rohrbrüche, Bersten von Tanks und Behältern oder Explosionen etc. auftreten. Störfälle stellen lediglich Ausnahmefälle dar und werden hier nicht weiter betrachtet.

2.1 Emissionen von Treibhausgasen

Die Emission klimarelevanter Gase resultiert zum einen aus der Energieerzeugung sowie aus den Transporten und der Gülle- bzw. Gärrestbehandlung. Da Energienutzung und Emissionen von Treibhausgasen eng miteinander verflochten sind, wird dieser Aspekt in Kapitel 8 behandelt.

2.2 Emission von Geruchsstoffen

Hinsichtlich der Geruchsbelästigung wird eine qualitative Diskussion bezüglich der Aspekte geführt, die zu einer stärkeren bzw. geringeren Geruchsbelästigung führen können als bei Einzelhofanlagen (Geruchspotenzial ausgehend von der Substratmenge, aufbereitete Gärreste, nach Art der Aufbereitung, Ausführung des Gärrestelagers, Ausbringungsverfahren in der Umgebung der Anlagen etc.). Eine tief greifende Analyse dieses Aspektes kann im Umfang der angebotenen Arbeiten nicht geleistet werden.

Zu den geruchsintensiven Stoffen beim Betrieb einer Biogasanlage zählen u. a. Ammoniak, niedermolekulare Aminverbindungen, organische Säuren, Phenole und Schwefelwasserstoff. Die Geruchsemissionen einer einzelnen Anlage hängen dabei wesentlich von den eingesetzten Substraten ab (Gülle, Nawaro oder Abfälle aus der Nahrungsmittelindustrie).

Für eine Beurteilung der Geruchsemissionen muss stets die Hintergrundbelastung berücksichtigt werden. Für Biogasanlagen in ländlichen Regionen kann oft von einer Vorbelastung durch Tierställe und Silagefutter ausgegangen werden. Zusätzliche Geruchsquellen bilden die Kosubstrate sowie zusätzliche Behandlungs- oder Transportschritte. Gleichzeitig werden die geruchsbildenden Substanzen jedoch durch die Vergärung in der Biogasanlage verringert (ca. -30 %) /6/. Bei einer Anlage mit einem hohen Anteil an Kosubstraten sollte in der Tendenz von einer Zunahme der Geruchsemissionen ausgegangen werden.

Geruchsquellen beim Betrieb einer Biogasanlage sind:

- Der Transport sowie Verunreinigungen auf den Fahrwegen und den Lade- bzw. Rangierbereichen der Biogasanlage
- Die Lagerung, Aufbereitung und Einbringung der Substrate in die Vorgrube bzw. den Feststoffbunker
- Die Gaslagerung im Membranspeichern und Speichersäcken (da PVC und PE nicht vollständig geruchsdicht sind)
- Die Nachgärung in nicht abgedeckten Gärrestlagern
- Betriebsstörungen und Motorenwartung mit Gasaustritt (aufgrund des Schwefelwasserstoffanteils im Biogas)
- Quantitativ weniger relevant sind die Motorabgase des Blockheizkraftwerks.

Für eine Beurteilung der Geruchsemissionen werden üblicherweise die Größe und die Emissionsrelevanz der Anlage (z. B. aufgrund der eingesetzten Substrate sowie Abstand und Windrichtung zur Wohnbebauung) betrachtet. Wie auch beim Lärm müsste ein Geruchsgutachten eine konkrete Immissionssituation beurteilen, was im Falle dieser allgemeinen Betrachtung nicht möglich ist. Daher wird hier nur qualitativ betrachtet, wie die Unterschiede bei den Emissionen durch den Betrieb der unterschiedlichen Anlagenkonzepte zu beurteilen sind.

In welcher Menge Geruchsstoffe emittiert werden, hängt sehr stark von der Prozessführung und von der Umgebung ab (Temperatur, Windgeschwindigkeit etc.). Doch darüber hinaus wird angenommen, dass sich die Emissionen proportional zur Austauschfläche erhöhen.

Damit ergeben sich für die Beurteilung der Anlagenkonzepte folgende relevante Punkte:

- Mit zunehmender Größe der Biogasanlage steigen tendenziell das Know-how und der Zeitaufwand der Betriebsführung mit entsprechend weniger Störfällen z. B. durch Fehlgärungen. Das spricht für den Biogasanlagenpark gegenüber der Einzelhofanlage.
- Wenn der Standort der Einzelhofanlage einen größeren Viehbestand aufweist, dessen Gülle in der Biogasanlage behandelt wird, reduziert sich die Geruchsbelastung tendenziell.
- Je größer eine Anlage ist, desto größere Mengen an Geruchsquellen sind *örtlich konzentriert* und addieren sich damit lokal. Insofern können die Geruchsemissionen von Biogasanlagenparks über denen *einer* Einzelhofanlage liegen.
- Dagegen sind die Geruchsemissionen der Einzelhofanlagen über viele Standorte verteilt. Damit sind – je nach Verteilung – *insgesamt mehr* Nachbarn von Geruch betroffen als bei Biogasparcs.
- Gegenüber Hofanlagen können bei Biogasanlagenparks jedoch Fördermaschinen zum Einsatz kommen, die auch eine emissionsmindernde Wirkung für Ge-

ruchsstoffe haben, wie z. B. Förderschnecken, Stempelpressen, usw. Diese können zwar auch bei Einzelhofanlagen installiert werden, aber die technischen Möglichkeiten zur Emissionsminderung sind bei Anlagenparks eher und kostengünstiger zu realisieren. So erfolgt beispielsweise die Substratannahme im Fall des Anlagenparks in Penkun eingehaust unter Entsorgung der Luft über einen Biofilter.

- Die Lagerung von Flüssigmist und Gärresten sollte im geschlossenen Behälter erfolgen – egal ob Groß- oder Kleinanlage. In der Praxis stellen heute die meisten Gärrestbehälter offene Lager dar. Von Biogasexperten und -verbänden wird dagegen eine geschlossene Gärrestlagerung als Standard empfohlen und als Gegenstand einer VDI-Richtlinie angeregt. Beim Biogaspark Penkun gehen die Gärreste direkt in die abgedeckte Düngemittelfabrik. Im Vergleich zu den meisten Einzelhofanlagen ohne Gärrestlagerabdeckung treten unter dem Aspekt der Gärrestlagerung demnach weniger Emissionen auf.
- Ein weiterer wichtiger Aspekt sind Gerüche beim Transport und durch die Verunreinigungen von Verkehrsflächen. Beim Transport in geschlossenen Behältern (LKW) ist hier mit geringeren Emissionen als im Fall des offenen Transports z. B. mit Traktoren zu rechnen. Dadurch kommt es bei der Einzelhofanlage in der Tendenz zu mehr Emissionen von geruchsbildenden Stoffen.

Bei Biogasparkanlagen werden damit im Vergleich geringere Geruchs-Emissionen auftreten als bei 40 Einzelhofanlagen, da die Annahmebereiche der Güllehygienisierung und Fermentation, das Gebäude der Gärrestaufbereitung und alle geschlossenen Behälter für die Lagerung von Gülle, Gärreste oder Konzentrate abgesaugt und die Abluft einer Abluftbehandlung zugeführt werden. Die Abluftbehandlungsanlage besteht aus einem Biofilter mit einem vorgeschalteten Wäscher.

Das Substrat wird in einem geschlossenen Gebäude angenommen und in eine abgedeckte Vorlage für die Verteilung auf die 40 Biogasanlagen gefördert. Von dort wird das Substrat zu den einzelnen Anlagen gepumpt. Der in der Fermentation anfallende Gärrest wird einer abgedeckten Gärrestvorlage der Gärrestaufbereitung zugeführt, die in einem geschlossenen Gebäude installiert wird.

Da bei Biogasanlagenparks aufgrund des größeren Emissionsrisikos auf bauliche Maßnahmen zur Geruchsreduktion zurückgegriffen wird, werden die Geruchsemissionen im Vergleich zur Einzelhofanlage geringer ausfallen. Zudem steht der Aufwand zur Minimierung in besserem Verhältnis zum Nutzen als bei einer Kleinanlage.

2.3 Lärmemissionen

Lärmemissionen stehen überwiegend mit dem Transport und Ladevorgängen im Zusammenhang. In Bezug auf die Lärmemissionen aus dem Verkehr erfolgt im Kapitel 4.1 eine nähere Betrachtung.

3 Substratbeschaffung und Logistik

Biogasanlagenparks benötigen gegenüber einer Einzelhofanlage mehr Substratinput an einem Ort. Daher könnte der Rationalisierungsdruck bei Großanlagen höher als bei Einzelanlagen liegen. Für die Aspekte zur Bodenintensivierung und Fruchtfolge wird eine orientierende Betrachtung durchgeführt (vgl. Kapitel 9.2).

3.1 Substratbeschaffung

Biogasanlagen können mit sehr unterschiedlichen Substraten beschickt werden. In dieser Kurzstudie wird von einem einheitlichen Substratmix ausgegangen, der für Deutschland typisch ist. Vergleichend erfolgt die Betrachtung der Einzelhofanlagen mit gleichem Substratmix, aber nur 2,5 % der Substratmenge.

Nach Betreiberangaben werden in jedem Fermenter (2.500 m³ Inhalt) pro Tag 22,5 – 25 t Substrat benötigt, abhängig von der Qualität der Inhaltsstoffe. Pro Tag werden etwa 900 bis 1.000 t Substrat angeliefert, wobei ausschließlich LKW für den Transport genutzt werden. Dabei werden mit jedem LKW 25 t Substrat angeliefert, d. h. 40 LKW Fahrten täglich bzw. pro Einzelanlage 1 LKW mit 25 t/d.

Die Substratbereitstellung erfolgt aus den Regionen Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Polen und umfasst einen Radius von ungefähr 40 km um den Biogaspark Penkun.

Die o. g. Substratmengen und -fahrten betreffen hauptsächlich Maissubstrat. Zusätzlich sind Getreide- und Güllemengen zu berücksichtigen. In Tabelle 1 ist der Substrateinsatz der Einzelanlagen im Biogaspark Penkun dargestellt. Dabei wurde das Substratverhältnis berücksichtigt, welches nach Betreiberangaben für jede Einzelanlage eingesetzt wird (vgl. Anhang).

Tabelle 1: Substrateinsatz der Biogasparkanlagen in Penkun

Substrat	Menge t/d	Menge t/a	Gas- ausbeute m ³ BG / t _{FM}	Gas- produktion m ³ /h	Methan- anteil	BHKW η	Energie- potenzial GWh/a	BHKW- Leistung kW	Betriebs- stunden h/a	Jahres- stromprod. GWh/a
Mais	22	8.000	210	192	0,5	0,38	8,4	363	8000	2,9
Getreide	2	800	600	55	0,53	0,38	2,5	110	8000	0,9
Gülle	6	2.100	25	6	0,6	0,38	0,3	14	8000	0,1
Gesamt	30	10.900					11,2	487		3,9

Anhand des Substrateinsatzes wurde die Anzahl der Fahrten ermittelt, die zur Belieferung der Biogasanlagen notwendig sind (Tabelle 2). Dabei wurde unterstellt, dass ein LKW 25 t je Fahrt transportiert, während das Ladevolumen eines Gülletransporters etwa 22 m³ umfasst. Zur Belieferung des Biogasanlagenparks sind demnach rund 50 Fahrten pro Tag erforderlich.

Tabelle 2: Anzahl der Fahrten

Substrat	Menge		Anzahl LKW-Fahrten	
	t/a	t/d	pro Jahr	pro Tag
Mais	8000	22	320	0,9
Getreide	800	2	32	0,1
Gülle	2100	6	84	0,3
Gesamt Einzelanlage	10.900	30	436	1,2
Gesamt Biogasanlagenpark (40x)	436.000	1.195	17.440	49

In Tabelle 3 ist der Hektarbedarf dargestellt, der für eine Einzelbiogasanlage mit einer elektrischen Leistung von rund 500 kW_{el} erforderlich ist. Entsprechend des Substrateinsatzes (vgl. Tabelle 1) ergibt sich ein Hektarbedarf für eine Einzelanlage von 278 ha.

Tabelle 3: Hektarbedarf einer einzelnen Biogasanlage

Substrat	Menge	Hektarertrag	Hektarbedarf
	t/a	t/ha	ha
Mais	8.000	45	178
Getreide	800	8	100
Gesamt	8.800		278

Im Vergleich zur Einzelanlage erhöhen sich die durchschnittlichen Transportentfernungen bei der Betrachtung des Biogasanlagenparks, für den die 40-fache Anbaufläche im Einzugsgebiet vorgehalten werden muss. In diesem Fall – ebenso wie bei der Betrachtung von 40 Einzelbiogasanlagen im Bundesgebiet verteilt – beträgt die Substratfläche etwa 11.120 ha. Idealisiert entspricht das Einzugsgebiet einer Kreisfläche mit den in Tabelle 4 dargestellten minimalen Transportentfernungen.

Aufgrund des größeren Einzugsgebietes eines Biogasanlagenparks vergrößert sich die durchschnittliche Transportentfernung für die Substratbelieferung jeder einzelnen Biogasparkanlage.

Tabelle 4: Transportentfernungen im Vergleich (idealisiert)

Anlagenart	Substrat	Menge	Hektarbedarf	Hektarbedarf	Faktor für Flächenvorhaltung	Anzahl Einzelanlagen	Transportentfernung der Einzelanlagen
		t/a	ha	km ²			km
Einzelhofanlage	Mais, Getreide	8.800	278	2,78	4	1	1,9
Biogaspark	Mais, Getreide	8.800*40	278*40	2,78*40	4	40	11,9

Idealisiert betrachtet, sind etwa die 6-fachen Transportentfernungen für eine Biogasparkanlage im Vergleich zur Einzelhofanlage erforderlich. In der Realität ergeben

sich für beide Anlagenkonzepte höhere Transportentfernungen, da keine Luftlinie gegeben ist – wie in der idealisierten Betrachtung angenommen – sondern die Infrastruktur (Wege, Seen, Städte etc.) mit zu berücksichtigen ist. Der Faktor 4 in der obigen Tabelle steht für Flächenvorhaltungen der landwirtschaftlichen Nutzfläche, da aufgrund von Fruchtfolgen, Futtermittelproduktion und Produktdiversität nur ca. jeder 4. Teil der Nutzfläche zum Anbau von Substraten für die Biogasanlage genutzt werden kann.

Anhand von Praxiserfahrungen ist bekannt, dass Einzelhofanlagen für die Substratbeschaffung Transportdistanzen von 5 - 10 km /10/ aufweisen. Die Substratbereitstellung am Beispiel Penkun erfolgt aus Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Polen und umfasst nach Betreiberangaben einen Radius von ca. 40 km um den Standort (vgl. Anhang). Im Vergleich zur Einzelbiogasanlage, die bei einem Substrateinzugsgebiet von beispielsweise 7 km durchschnittlich etwa 5 km mittlere Transportlänge aufweisen, liegt die durchschnittliche Transportentfernung einer Biogasparkanlage bei etwa 28 km (Tabelle 5). Aufgrund besserer Logistikkonzepte der Parkanlagen können Transportwege eingespart werden, jedoch liegt der Transportaufwand über den Transportentfernungen von Einzelhofanlagen.

Tabelle 5: Durchschnittliche Transportentfernungen im Vergleich

	Transportentfernung	Fläche	durchschnittliche Transportentfernung
	km	km ²	km
Einzelhofanlage	7	154	5
Biogasparkanlage	40	5027	28

3.2 Logistik

Mit zunehmender Anlagengröße steigt die *regionale* Verkehrsbelastung durch die Anlieferung der Substrate. Weiterhin weisen die Transportfahrzeuge eine größere Achslast auf als Traktoren oder Schlepper, die bei Einzelhofanlagen als Transportmittel für Substrate verwendet werden. Beides hat eine vermehrte Abnutzung der öffentlichen Straßen zur Folge und führt zu einer kürzeren Nutzungsdauer bzw. einem höheren Erhaltungsaufwand. Fraglich ist u. a., inwieweit ein zusätzliches Verkehrsaufkommen auf einzelnen Strecken wirklich beurteilbare Schäden verursacht.

Geht man davon aus, dass sich die durchschnittlichen Transportdistanz von Biogasparkanlagen im Vergleich zu Einzelhofanlagen von ca. 5 auf 28 km versechsfacht, so würden sich auch die Kosten für die Straßenabnutzung versechsfachen – gleiche Fahrzeuge und Benutzungsanteile von Bundes- und Kreisstraßen vorausgesetzt. Ob es einen Unterschied hinsichtlich der Straßenabnutzung zwischen LKW und Traktoren gibt, hängt von den Achslasten und der Anzahl der bewegten Fahrzeugkilometer

ab. Im Fall Penkun ist darauf hinzuweisen, dass bei höheren Transportstrecken mit hohen Achslasten die Abnutzung größer ausfällt.

4 Emissionen durch Transporte

Im Zusammenhang mit der Errichtung der Biogasanlagenparks stehen oft die zusätzlichen transportbedingten Luft- und Lärmbelastungen, die mit der Substratlieferung und Gärrestausbringung verbunden sind, im Blickfeld der Diskussion. So werden aufgrund der Anlagenkonzentration an einem Ort zusätzliche Lärmbelastungen und Feinstaubemissionen betrachtet.

4.1 Lärmbelastungen

Der Bau und Betrieb einer Biogasanlage erfordert je nach Anlagengröße eine Genehmigung nach Baurecht oder nach Bau- und Immissionsschutzrecht. Letztere sieht eine Ermittlung der Lärmimmissionswerte nach den Vorschriften der TA-Lärm vor, doch der hier vorgenommene Vergleich zwischen verschiedenen Biogasanlagentypen kann nicht den Anforderungen einer *Immissionsabschätzung* gerecht werden, da diese ortsabhängig durchgeführt wird. Alternativ werden hier grundsätzliche Aspekte zur *Lärmemission* dargestellt.

Angesichts der täglichen Fahrzeugzahl von für die An- und Ablieferung der Substrate würde eine Bewertung auf der Basis von Vergleichswerten (Analogien zu verschiedenen Straßenklassen) zu keinem Ergebnis führen. Entscheidend für eine Lärmbeurteilung von Biogasanlagen ist außerdem der sog. Gewerbelärm, der auf dem Betriebsgelände durch Be- und Entladevorgänge entsteht und für den keine derartigen Vergleichswerte vorliegen. Aus diesem Grunde werden daher einige allgemeine Betrachtungen zu möglichen Unterschieden zwischen Einzelhofanlage und Biogasanlagenpark vorgenommen.

Lärmquellen entstehen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Biogasanlagen durch den Lastverkehr bei der Anlieferung der Einsatzstoffe und den Abtransport der Gärreste bzw. aufbereiteten Dünger durch landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge, Tankwagen auf den öffentlichen Straßen und auf dem Betriebsgelände. Daran schließt sich direkt Lärm durch Rangierfahrten sowie durch Be- und Entladevorgänge auf dem Betriebsgelände an. Hierzu zählt das Einbringen der Substrate in Bunker/Zwischenspeicher, Mischbehälter und in den Fermenter sowie schließlich in das Gärrestelager. Diese Bewegungen erfolgen beispielsweise durch Radlader, landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge, Förderschnecken, Schubböden.

Weitere Lärmquellen sind die Rührwerke in Fermentern und Lagerbehältern sowie durch die Verbrennungsmotoren mit Kühler und Lüftungsanlagen. Diese sind in der Regel in gekapselten Bereichen (z. B. Containern) zu errichten. Es ist dabei besonders zu beachten, dass der BHKW-Betrieb in aller Regel rund um die Uhr erfolgt.

Über den Grad der gesundheitlichen Schädigung oder Belästigung bestimmen Art, Ausmaß oder Dauer des Lärms (differenziert nach Tag und Nachtstunden/Sonn- und Feiertagen, Geräuschspitzen, Intervalle des Auftretens). Entscheidend sind in diesem Zusammenhang folgende Punkte:

- In der Planung der Anlage von Zufahrt, Rangier-, Lagerplätze etc. können Lärmausbreitungsmuster berücksichtigt werden und eine geringe Lärmbelastung für die Nachbarschaft zur Folge haben. Doch ist eine derartige Optimierung bei einer Vielzahl von Einzelmodulen schwieriger zu realisieren als bei einer geringeren Zahl an Anlagenteilen.
- Die Belieferung und der Abtransport von Substraten können bei einem Biogasanlagenpark zu „Nadelöhren“ führen, die bei einer Kleinanlage vermieden werden können. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die Transporte über verschiedene Zufahrten auf das Gelände ermöglicht werden, um Verkehrsstaus auf dem örtlichen Straßennetz zu vermeiden. Die Standortplanung muss daher auf eine entsprechend leistungsfähige Anbindung achten. Im Fall Penkun erfolgt die Zulieferung teilweise über die Autobahn und Bundesstraße.
- Einen weiteren Einfluss haben die Fahrzeuge. Es wird davon ausgegangen, dass Biogasanlagenparks von großen LKW-Zügen beliefert werden, Kleinanlagen dagegen mit einem Traktor bzw. Schlepper. Der Schalleistungspegel beider Fahrzeuge ist für beschleunigtes Anfahren und Fahren vergleichbar (etwa 80-85 dB /5/, so dass Unterschiede stärker auf das persönliche Fahrverhalten zurückgehen würden, hier jedoch nicht bewertet werden können.
- Eine dezentrale Lagerung der Substrate und Gärreste im Falle des Biogasanlagenparks erfordert eine größere Zahl innerbetrieblicher Transporte. Inwiefern damit auch ein Mehr an Be- und Entladevorgängen verbunden ist, kann im Rahmen dieser allgemeinen Betrachtung nicht geklärt werden. Als wirkungsvolle Lärminderungsmaßnahme gilt ein Be- und Entladen in abgeschlossenen Hallen. Im Fall Penkun werden viele Be- und Entladevorgänge in gekapselten Gebäuden vorgenommen.
- Im Fall des Biogasanlagenparks Penkuns ist die Anlagentechnik einschließlich Blockheizkraftwerken in Gebäuden, Behältern oder Containern integriert. Nennwerte Schallemissionen der Aggregate nach außen sind demnach kaum zu erwarten. Für die Zu- und Abluft der Blockheizkraftwerke sind Schalldämpfer vorgesehen. Im Abgastrakt der BHKW ist ein Abgasschalldämpfer integriert.

Aufgrund der *lokal* höheren Transportfrequenz müssen Biogasparkanlagen als größere Lärmquellen angesehen werden als bei *einer* Einzelhofanlage. Werden jedoch alle 40 Einzelhofanlagen mit berücksichtigt, so wird der „Gesamtlärm“ als Summe aller lokalen Lärmemissionen insgesamt höher liegen als bei der Biogasparkanlage. In Bezug auf die Lärmentwicklung können hier Maßnahmen zur Lärmreduktion wie Umgehungsstraßen und Einhausungen bzw. geschlossene Hallen für eine Entlastung der direkten Nachbarschaft sorgen.

Die tatsächliche Lärmbelastung der Nachbarn kann jedoch nur in einer detaillierten Immissionsprognose mit Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse und realen baulichen Gegebenheiten erfolgen.

4.2 Luftschadstoffemissionen durch Transporte

Bei Luftbelastungen wurden in der jüngsten Vergangenheit insbesondere Feinstaub diskutiert, d. h. Partikel mit einem Durchmesser unter 10 µm (particulate matter = PM₁₀). Partikel dieser Größe können tief in die Lunge gelangen und sind daher besonders gesundheitsschädlich.

Hauptverursacher der Feinstaubbelastung sind Straßenverkehr, feste Brennstoffe in Einzelfeuerungen, Bauwirtschaft und Industriebetriebe. Doch auch die Landwirtschaft kann in ländlichen Gebieten erhebliche Beiträge liefern (durch Landmaschinen und Emissionen aus der Tierhaltung, die zu Aerosolbildung führen).

Die Feinstaubbetrachtung erfolgt in dieser Kurzstudie in Bezug auf die Substrattransporte.

Andererseits ergeben sich Unterschiede in Bezug auf die Transportfahrzeuge. Daten des Umweltbundesamts zeigen, dass die Land- und Forstfahrzeuge gegenüber LKW weitaus höhere PM₁₀-Emissionen zeigen. Wird eine Einzelhofanlage mit Traktoren beliefert, steigt dadurch die lokale Feinstaubbelastung gegenüber einer LKW-Belieferung deutlich an.

Im Einzelfall hängt es von der Anzahl der Fahrten, vom Fahrzeug und von der Zahl der Zufahrten ab, an welchem Anlagentypus die höhere PM₁₀-Belastung herrscht. Die quantitative Analyse liefert hier folgendes Ergebnis:

Tabelle 6 Emissionsbilanz der Transporte (nur direkte Emissionen)

Silage-Transport	Direkte Emissionen Anlage [kg/a]	
	je Standort	insgesamt
Park (Lkw + Traktoren)	34	34
Hofeinzeln (Traktor)	12	475

Gärrest-Transport	Direkte Emissionen Anlage [kg/a]	
	je Standort	insgesamt
Park (Lkw)	5	5
Hofeinzeln (Traktor)	12	500

Gesamt-Transport	Direkte Emissionen Anlage [kg/a]	
	je Standort	insgesamt
Park (Lkw + Traktoren)	39	39
Hofeinzeln (Traktor)	24	975

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts mit GEMIS 4.4 (vgl. /9/); Lkw mit EURO4-Standard

Das Ergebnis zeigt, dass die Feinstaubbelastung durch die Transporte der *gesamten* Parkanlage gegenüber *einer* Einzelhofanlage zwar um rd. 50 % höher liegt, aber gegenüber der *gesamten* Emission *aller* Einzelhofanlagen sich eine *Reduktion* um 96 % ergibt, also um den Faktor 25.

5 Betriebssicherheit der Anlagen

Im Vergleich zur Einzelhofanlagen ist beim Biogasanlagenpark eine höhere Betriebssicherheit zu erwarten (bessere Betriebsführung, professionelles Personal).

Reparatur-, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten haben zwei hauptsächliche Einflüsse auf die untersuchten Anlagenkonfigurationen. Diese beziehen sich auf die Kosten und auf die energetische Nutzung.

In Bezug auf die Kosten der Reparatur-, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten stehen die 40 Hofanlagen im Vergleich zum Biogasanlagenpark schlechter da. Diese Anlagen werden im Praxisbetrieb zum Großteil von den Landwirten selbst gewartet (außer BHKW, was zumeist von Spezialkräften durchgeführt wird, die für einzelne Anlagen hohe An- und Abreisekosten haben). Dies hat zur Folge, dass die Biogasanlagen in der Praxis meist nicht optimal betrieben werden. Im Fall des Biogasanlagenparks kann mit effektiverem Betrieb gerechnet werden, da diese Anlagen von einem hoch spezialisierten Betriebs- und Wartungs-Team geführt werden. Praxiserfahrungen zeigen, dass vom Landwirt betriebene Biogasanlagen selten über 8.000 Betriebsstunden (Biogasanlage und BHKW) im Jahr aufweisen. Optimal gewartete 500 kW Anlagen können bis zu 8.200 h/a betrieben werden (Im Jahresdurchschnitt über die gesamte Lebenszeit der Biogasanlage).

Da die Biogasanlagen nur geringe Speicherkapazitäten haben, muss damit gerechnet werden, dass das Biogas fast immer abgefackelt werden muss, solange das BHKW still steht. Bis zu 8.200 Betriebsstunden im Jahr bedeuten, dass ca. 7 % des Gases abgefackelt werden muss. Eine Steigerung von 8.000 auf 8.200 Betriebsstunden hätte eine verbesserte Gasnutzung um 2,5 % zur Folge. Diese Steigerung ist unter sehr guten Bedingungen möglich, aber nicht selbstverständlich.

Zudem ist beim Biogasanlagenpark in Penkun ein Ersatzteillager für Pumpen, Schneckenförderer, Mischer, Rührerersatz u. a. vorgesehen. Hinsichtlich der BHKW-Führung ist eine Hersteller-Garantie verhandelt worden, wonach innerhalb von 24 h ein Ersatz-BHKW geliefert wird. Die Reparaturen und Störungen werden mit dem eigenen geschulten Team durchgeführt. Im Fall Penkun wird eine Anlagenverfügbarkeit von 92 % angestrebt. Mit Anlagenverfügbarkeit ist hier das Funktionieren aller Anlagenteile, von der Biogasproduktion bis zur Verstromung gemeint. Sie entspricht somit den Betriebsstunden des BHKW.

Aufgrund der höheren zu erwartenden Betriebssicherheit von Biogasanlagenparks kann eine vergleichsweise höhere Stromproduktion bei gleichen Einsatzstoffen erwartet werden. Die Betriebsstunden der BHKW-Module dürften im Vergleich zur Einzelhofanlage aufgrund der besseren Betriebsführung vor Ort vergleichsweise höhere Laufzeiten erreichen (ca. 8.100 h/a). Gut geführte BHKW-Module von Einzelhofanlagen erreichen in der Praxis i. d. R. weniger Betriebsstunden. Etwa 2/3 der Biogasanlagen in Deutschland erreichen mehr als 7.000 h/a, aber weniger als ein 1/3 über 8.000 h/a Betriebsstunden /8/.

Wird davon ausgegangen, dass bei neuen, gut gewarteten Einzelhofanlagen eine Betriebsstundenzahl von 8.000 h/a und bei professionell gewarteten Biogasanlagenparks 8.100 h/a erreicht werden können, wird bei Parkanlagen etwa 1,2 % mehr Strom aus dem Biogas erzeugt. In Abhängigkeit von der Qualität der Betriebsführung der Einzelhofanlagen kann dieser Unterschied auch erheblich größer ausfallen.

6 Energetische Aspekte

6.1 Eigenstromverbrauch

Der Eigenstrombedarf des Biogasanlagenparks Penkun beträgt abzgl. der Gärrestaufbereitung etwa 9-10 % bezogen auf die produzierte Strommenge. Einzelhofanlagen weisen durchschnittlich geringere Eigenstromverbräuche auf (6 - 8 %). Der verhältnismäßig hohe Eigenstromverbrauch in Penkun resultiert aus der spezifischen Anlagenkonfiguration (beispielsweise ca. 18 km Rohrleitung, davon ca. 2,8 km Gülleleitung), ist aber bei Biogasanlagenparks tendenziell höher als bei Einzelhofanlagen (z. B. wegen längeren Strecken und höherem Aufwand).

6.2 Gasnutzung

Im Hinblick auf die Gasnutzung ist zwischen typischen Einzelhofanlagen und dem Biogaspark Penkun kein großer Unterschied vorhanden.

Es kann davon ausgegangen werden, dass eine gut betriebene Einzelhofanlage 8.000 h/a Strom produziert. Im Fall einer Biogasparkanlage im professionelleren Betrieb werden 8.100 h/a angenommen. Aufgrund des höheren Aufwandes (z. B. Emissionsminderungstechniken wie Biofilter und Wäscher) und der längeren Entfernungen (lange Rohrleitungen) ist der Eigenstromverbrauch des Biogasanlagenparks höher.

Das bedeutet, dass der Biogasanlagenpark aufgrund höherer Betriebsstunden vergleichsweise mehr Strom produziert, dagegen aber auch einen höheren Stromverbrauch aufweist, so dass *netto nahezu gleich viel Strom* aus dem eingesetzten Substrat gewonnen werden wird.

7 Gärrestnutzung

Die Ausbringung des vergorenen Substrats aus Biogasparcs bedingt das Handling sehr großer Gärrestmengen. So ist eine angepasste Logistik bzgl. der Ausbringung und der Dosierung der Gärreste von hoher Wichtigkeit. Als vorteilhaft könnte sich bei Biogasanlagenparcs die Möglichkeit der Gärrestaufbereitung erweisen, da aufgrund der Standortkonzentration die Gärrestbehandlung mehrerer Einzelanlagen in einer zentralen Aufbereitungsstufe erfolgen kann. Hieraus ergeben sich Synergieeffekte im Vergleich zu Einzelhofanlagen, bei denen zumeist aus Kostengründen keine mehrstufige Gärrestaufbereitung realisiert kann. Eine technisch anspruchsvolle Weiterbehandlung des separierten Gärrests z. B. mit Ultrafiltration und Umkehrosmose oder Vakuumverdampfung, wird bei Einzelhofanlagen höchst selten durchgeführt.

Im ersten Schritt werden die Feststoffe mittels Pressschneckenseparatoren in eine flüssige und eine feste Phase getrennt. Die Feststoffe werden anschließend einem Trockner zugeführt und auf ca. 75 - 80 % Trockensubstanzgehalt getrocknet. Je nach Bedarf werden Nährstoffe (N/P/K) zugemischt um feste Nährstoffverhältnisse einzustellen und Trockendünger erzeugt. Nach dem Mischen besteht die Möglichkeit das Material bei Bedarf zu pelletieren und abzupacken (Depotdünger). Das bei der Feststoffabscheidung entstehende Fugat (Flüssigkeit) wird feingesiebt und anschließend der Eindampfanlage zugeführt. Diese Eindampfanlage entzieht im Unterdruck dem Fugat einen Großteil des Wassers und konzentriert so die im Fugat enthaltenen Nährstoffe zu einem flüssigen Düngekonzentrat auf. Das Düngekonzentrat wird in entsprechenden geschlossenen Speicherbehältern bis zur Verwertung gelagert. Das bei der Eindampfung des Fugats entstehende Kondensat wird einer Umkehrosmose und teilweise der Fermentation zugeführt. Das Permeat der Umkehrosmose wird zur Kühlung des Kondensates der Verdampfung genutzt. Überschüssiges Permeat wird in den Vorfluter geleitet oder verregnet. Das Konzentrat der Umkehrosmose wird der Anmischung des Substrates für die Fermentation zugeführt. Das Düngekonzentrat wird in der Region auf landwirtschaftlichen Nutzflächen verwertet, für den Trockendünger ist eine internationale Vermarktung geplant. /7/

Bei dem Vergleich einer Einzelhofanlage zum Biogasanlagenpark sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Durch eine zentrale Gärrestaufbereitung (u. a. mit der Stufe der Feststoffseparation) kann der Wassergehalt der auszubringenden Gärrestmaterialien deutlich reduziert werden. Dadurch reduziert sich folglich die Transportmasse, so dass eine geringere Zahl von Gärresttransporten im Vergleich zur Einzelhofanlage wahrscheinlich ist. In Penkun fallen etwa 445.000 t Gärreste pro Jahr an. Durch die Aufbereitung der Gärreste stehen schätzungsweise 24.000 t Düngerpellets sowie rund 50.000 t Flüssigdünger (Konzentrat) zur Verfügung. Demzufolge können im Vergleich zu einer direkten Ausbringung der Gärrestmengen die zu transportierenden Düngermengen infolge der Aufkonzentrierung der Nährstoffe über 80 % reduziert werden.

- Hinsichtlich der Verwendung der aufbereiteten Gärreste als Depotdünger/ Pellets ist im Vergleich zu konventionellen Gärresten einer Einzelhofanlage ein geringeres Emissionsrisiko in Bezug auf die Auswaschungsgefahr von Nährstoffen sowie flüchtiger Emissionen infolge der Ausbringung zu erwarten.
- Im Fall der Gärrestaufbereitung der Biogasparkanlage erfolgt eine Vermarktung der Aufbereitungsprodukte (Flüssigdüngerkonzentrat und Pellets) als Dünger. Wenn keine unmittelbare Kreislaufschließung erfolgt, ist der Export des Düngers mit Düngereinfuhren auszugleichen. Der Einsatz von Mineraldüngern trägt jedoch nicht zum Ausgleichen der Humusbilanz bei, so die Gärrestausbringung im Umkreis der Biogasanlage für eine ausgewogene Humusbilanz der Ackerböden sinnvoll ist.
- Die Gärrestverwertung in der Düngemittelproduktion stellt in Bezug auf Lager- und Transportfähigkeit der Depotdünger (Pellets) im Vergleich zu Gärreste von Einzelhofanlagen einen Vorteil für den Biogasanlagenpark dar. Die „Veredelung“ der Gärreste zu Depotdünger ist jedoch mit einem erhöhten Energieaufwand (u. a. Trocknungsaufwand) verbunden, der in der ökologischen Betrachtung berücksichtigt werden muss.
- Findet keine zentrale Gärrestaufbereitung bei einem Biogasanlagenpark Anwendung, so sind ebenso wie bei der Substratanlieferung durchschnittlich höhere Transportentfernungen bei Biogasparkanlagen infolge der direkten Gärrestausbringung bzw. bei Im-/Export von Düngemitteln zu berücksichtigen.

Die Gärrestmengen beim Biogasanlagenpark Penkun betragen etwa 445.000 t/a. Mit Hilfe einer Nährstoffbilanzierung wurden die Mengen an Stickstoff, Phosphor und Kalium der Düngemittel ermittelt, um den eingesparten Energieaufwand aufgrund der Substitution von Mineraldünger abzuschätzen. Für die gesamte Biogasparkanlage (40 Einzelmodule) entstehen etwa 24.000 t/a Düngerpellets und rd. 50.000 t/a Flüssigdünger (Konzentrat). Sowohl die Pellets als auch der Flüssigdünger substituieren Mineraldünger, zu dessen Herstellung fossile Energie verwendet wird. Die Bilanzierung der Mineraldünger mit den jeweiligen Gehalten an N, P, und K je Biogasparkanlagen-Modul ist in Bezug auf den Kumulierten Energieaufwand (KEA) in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Kumulierter Energieaufwand (KEA) für die substituierten N-; P- und K-Düngermengen je Parkanlagenmodul /9/

	substituierte Mengen t/a je Modul	KEA* [MJ/kg Produkt]	KEA GJ/a
N-Dünger	50	51,2	2560
P-Dünger	23	18,9	435
K-Dünger	50	19,6	980
Gesamt			3975

* Daten nach GEMIS 4.4 /9/

Durch die Düngemittelbereitstellung des Biogasanlagenparks können Mineraldünger substituiert werden, deren Produktion einen Energieaufwand (KEA) von rd. 159.000 GJ/a benötigen würde. Die Emissionsbilanz der Düngemittelbereitstellung ist in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Emissionsbilanz der Düngemittelbereitstellung je Parkanlagenmodul

	substituierte Mengen t/a je Modul	CO ₂ -Äquiv.* [kg/kg Produkt]	CO ₂ -Äquiv. t/a
N-Dünger	50	7,5	375
P-Dünger	23	1,2	28
K-Dünger	50	1,2	60
Gesamt			463

* Daten nach GEMIS 4.4 /9/

Die ökologische Vorteilhaftigkeit in Bezug auf die Gärrestaufbereitung hängt letztendlich vom Energieaufwand ab, der für die Aufbereitung der Gärreste zu Depotdünger aufzuwenden ist. Die Emissionsunterschiede zwischen unbehandelten Gärresten und Depotdünger sind nicht allgemein quantifizierbar, da diese von Witterbedingungen, Bodenqualitäten und Applikationstechniken abhängig sind. Hinsichtlich der Ausbringung der Depotdünger kann eine leichtere Applikation im Vergleich zu unaufbereiteten Gärresten erwartet werden. Der erhöhte Nährstoffgehalt der aufbereiteten Gärreste aufgrund der Reduktion des Wassergehaltes ist zu berücksichtigen, so dass die Anzahl der Fahrten zur Gärrestausbringung reduziert werden können. Zudem sind aufgrund der gezielten Einsetzbarkeit und Wirkungsweise der Depotdünger geringere Emissionen u. a. durch Auswaschung insbesondere von Stickstoff und Phosphor wahrscheinlich.

8 Energie- und Klimabilanzen

In dieser Kurzstudie wurde eine Abschätzung der klimarelevanten Emissionen, die über den gesamten Lebensweg der Anlagen entstehen, vorgenommen. In Abbildung 1 sind die Treibhausgasemissionen von 500 kW_{el} Einzelhofanlagen im Vergleich zu einer 500 kW_{el} Parkanlage dargestellt. Die Abbildung wurde nicht speziell für die Anlagenvarianten dieser Untersuchung erstellt, dennoch lassen sich Schlussfolgerungen ableiten, die für die Betrachtung herangezogen werden können. Die Grafik zeigt zudem die Auswirkungen der unterschiedlichen Wärmenutzung bei den Einzelhofanlagen, die den größten Einfluss auf das Ergebnis hat.

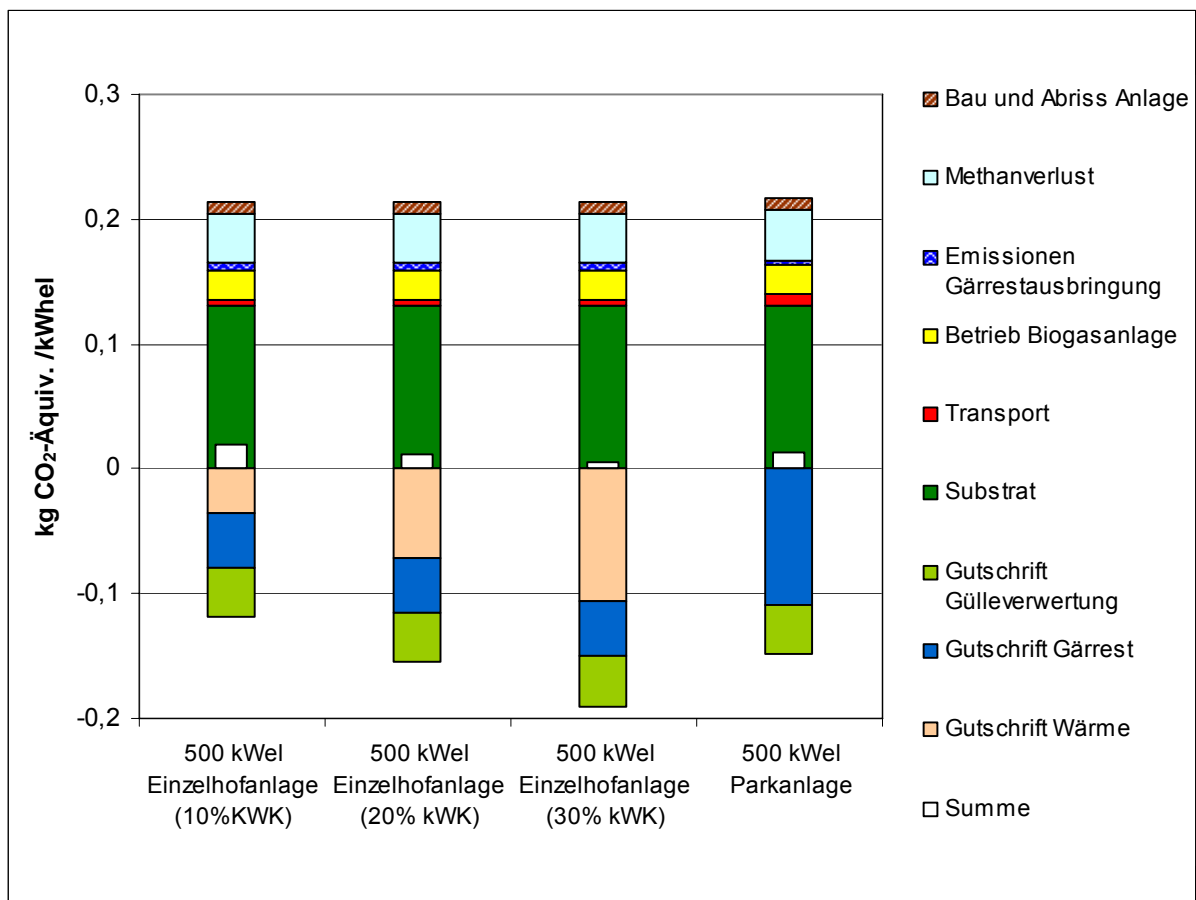


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen der Strom- und Wärmeherzeugung aus Biogas für verschiedene Anlagenvarianten, modifiziert nach /4/

Farbig sind die relevanten Parameter, die zur Verursachung bzw. Vermeidung von CO₂-Emissionen führen, dargestellt. Die weiße Säule stellt als Summe das Ergebnis der Treibhausgasemissionen in kg CO₂-Äquivalenten pro kWh_{el} dar.

Im Vergleich zu Einzelhofanlagen weisen Biogasparkanlagen wesentliche Unterschiede in Bezug auf den Transport, die Gärrestnutzung und die Wärmegutschrift auf.

Die Kernaussagen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die spezifischen Emissionen der Biogasproduktion – dargestellt in CO₂-Äquiv./kWhel – sind bei einer Biogasparkanlage im Vergleich zu einer Einzelhofanlage mit einer Wärmenutzung von etwa 20 % in gleicher Größenordnung zu erwarten. Wird der Einzelhofanlage eine höhere Wärmenutzung unterstellt, so kann diese geringere Treibhausgasemissionen erreichen als die Biogasparkanlage mit Gärrestaufbereitung.
- Hinsichtlich der Gärrestgutschriften sind im Fall der Biogasparkanlage höhere Treibhausgaseinsparungen zu erwarten, da ein größerer Ersatz von Mineraldünger möglich ist. Zudem können beim Einsatz von Depotdünger geringere Emissionen bei der Gärrestausbringung angenommen werden.
- Einen großen Einfluss auf das Ergebnis hat der Anteil der Wärmenutzung. Der Anteil der ausgekoppelten (extern genutzten) Wärme ist als Wärmegutschrift (Erdgasfeuerung) mit negativen Aufwendungen bzw. Emissionen dargestellt. Im Fall der Parkanlage erfolgt keine Wärmenutzung zur Substitution fossiler Energieträger im Bereich Wärme, sondern eine indirekte Substitution durch die Nutzung der Abwärme zur Erzeugung von Düngemitteln aus Gärrückständen, womit herkömmlicher Mineraldünger ersetzt wird. Die Aufwertung des Gärrestes zur Herstellung des Depotdüngers wurde mit der höheren Gärrestgutschrift berücksichtigt.
- Die Emissionen, die mit dem Substrateinsatz verbunden sind, haben im Hinblick auf die CO₂-Emissionen einen vergleichsweise hohen Einfluss, sind jedoch bei allen betrachteten Anlagenvarianten gleich.
- Klimarelevante Emissionen entstehen auch aufgrund von Methanverlusten in den Biogasanlagen. Im Betrieb von Einzelhofanlagen und Biogasparkanlagen sind die gesamten Methanemissionen in ähnlicher Größenordnung zu erwarten. Grundsätzlich mögliche Einsparungen an Methanemissionen bei der Biogasparkanlage können im Rahmen der Studie nicht quantifiziert werden und blieben demnach unberücksichtigt.
- Im Hinblick auf die transportbedingten Emissionen ist festzustellen, dass die Parkanlage leicht höhere Werte zeigt als die (Summe der) Einzelhofanlage(n). Für den Fall, dass die aufbereiteten Gärreste nicht im Umkreis der Parkanlage ausgebracht werden, sind höhere Transportkilometer für die Gärrestausbringung zu berücksichtigen. In der Betrachtung wurde ein solcher Export von Düngepellets aufgrund fehlender Daten *nicht* einbezogen.

9 Politische und ethische Fragestellungen

9.1 Landwirt als Substratlieferant

Die Frage der zentralen vs. dezentralen Energieerzeugung ist für die Bewertung von Biogasparcs in der *politischen Diskussion* von Bedeutung. Unter Umweltsichtspunkten ist relevant, wie sich dies in Bezug auf die Ziele des Klimaschutzes verhält: Handelt es sich um zusätzliche Anlagen oder werden potenzielle Einzelhofanlagen „verdrängt“? In diesem Zusammenhang sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Aufgrund bisheriger Erfahrungen stellt sich die Frage eines Eigenbetriebes einer Biogasanlage für deutlich weniger als 50 % der Landwirte. Tritt der Landwirt lediglich als Substratlieferant auf, kann er zwar nicht direkt am Gewinn der Biogasanlage teilhaben, auf der anderen Seite trägt er als Substratlieferant aber auch nicht das wirtschaftliche Risiko, das mit dem Betrieb einer Biogasanlage verbunden ist. Der Betrieb einer eigenen Biogasanlage könnte umgekehrt für den Landwirt ein wirtschaftliches Risiko darstellen.
- Inwiefern Landwirte an der Wertschöpfung partizipieren sollen ist zwar nicht umweltrelevant, aber im Zusammenhang zentraler vs. dezentraler Energieerzeugung von Bedeutung. Biogasanlagenparks treten nur im Einzelfall in Konkurrenz zu Einzelhofbiogasanlagen, in der Regel werden die „ungenutzten“ Biogaspotenziale erschlossen. Da Biogasanlagenparks die Existenz von Einzelhofanlagen nicht einschränken, könnte die Entwicklung beider Pfade durchaus parallel verlaufen bzw. sich ggf. gegenseitig begünstigen.

9.2 Einfluss Substratanbau (Monokulturen, Fruchtfolgen)

Mit dem Anbau von landwirtschaftlichen Kulturen zur Biogasnutzung ergibt sich für die Landwirtschaft eine neue Ausrichtung. Qualitätsaspekte, die bei der Nahrungs- oder Futtermittelproduktion von Bedeutung sind (z. B. hoher Eiweißgehalt bei Weizen) besitzen im Energiepflanzenanbau für den anaeroben Vergärungsprozess kaum Bedeutung. Dagegen sind hohe Massenerträge, d. h. hohe Trockenmasseerträge je Hektar, die wichtigste Zielvorgabe des Energiepflanzenanbaus.

Grundsätzlich steht für den Anbau von Energiepflanzen, die zur Silagebereitstellung von Biogasanlagen dienen, eine Vielzahl von produktiven Kulturpflanzen zur Verfügung. Jedoch findet gegenwärtig hauptsächlich *Energiemais* sowohl bei der Kofermentation als auch in der Monovergärung Anwendung aufgrund seiner Vorzüglichkeit in Bezug auf gute Mechanisierbarkeit, hohe Energieerträge pro Hektar und einfache Eingliederung in Betriebsorganisation.

Eine grundlegende Voraussetzung für den Maisanbau ist jedoch, dass die klimatischen Bedingungen erfüllt werden. Besonders der häufig zu geringe Niederschlag stellt in zahlreichen Regionen (speziell in den sommertrockenen Regionen Nordost Deutschlands wie bspw. Am Standort Penkun) den ertragsbegrenzenden Faktor dar.

Gegenwärtig erfolgt der Energiepflanzenanbau in bereits etablierten und betriebsüblichen Anbausystemen mit annualen Kulturen.

Dabei werden vorrangig Maissorten als Biogasrohstoff kultiviert im Wechsel mit Getreide und Raps (in ausgewählten Regionen auch zusätzlich Zuckerrübenanbau).

Durch eine Ausweitung der Anbauflächen von Mais zur Silagebereitstellung für energetische Zwecke könnte es lokal und regional zu einer Verengung der Fruchtfolgen kommen. Eine Verschlechterung insbesondere von Umwelteffekten wird durch einen intensiveren Maisanbau in folgenden Bereichen erwartet:

- Erosion
- Bodenverdichtung
- Erhöhte Pflanzenschutzmittelanwendung
- Verringerung der Biodiversität
- Nährstoffeinträge in Grundwasser und Gewässer
- Erhöhter Wasserverbrauch

Weiterhin kann es in ausgewählten Regionen Deutschlands (vor allem Regionen in Nord- und Süddeutschland mit ausgeprägter Viehhaltung) durch die zunehmende Attraktivität des Energiepflanzenanbaus dazu kommen, dass Landwirte bisheriges Grünland in Ackerland umwandeln und damit Umwelteffekte verschärfen.

Mit einer nennenswerten Etablierung von Monokulturen im Bereich des Maisanbaus ist nicht zu rechnen, da von Seiten der Agrarpolitik (Cross-compliance-Regelungen der EU) wird durch Forderungen nach einer ausgeglichenen Humusbilanz sowie einer mindestens dreigliedrigen Fruchtfolge die Möglichkeit der Anlage von Bewirtschaftungssystemen wie bspw. Monokultur unterbunden. Der zunehmende phytosanitäre Druck in Monokulturen sowie die damit verbundenen höheren Kosten für Pflanzenschutzmittel lassen eine Etablierung von Monokulturen bei gegenwärtig relativ niedrigen Produktpreisen als wenig wahrscheinlich erscheinen. Bei Einhaltung der Fruchtfolgen und Flächenvorhaltungen (z. B. vierfache Nutzfläche zum Anbau von Substraten für die Biogasanlage) kann im Fall eines Biogasanlagenparks nicht von einer Monokultur gesprochen werden.

In Bezug auf diese Faktoren unterscheiden sich die Wirkungen von Biogasparkanlagen *nicht* von den kumulierten Effekten der entsprechenden Anzahl von Einzelhofanlagen.

9.3 Einfluss Gentechnik

Forderungen von Seiten der Landwirtschaft nach einer verbesserten Wirtschaftlichkeit des Energiepflanzenbaus, nach höheren Biomasse- und Energieleistungen je Hektar sowie die Optimierung von Energiepflanzenfruchtfolgen führen seit geraumer Zeit zu intensiven Bestrebungen der Energiepflanzenzüchtung. Erklärte Ziele am Beispiel des Mais sind dabei Züchtung massebetonter Maissorten, klimatische Adaption und Nutzung des genetischen Potenzials sowie Verlängerung der vegetativen Entwicklung.

Gegenwärtig werden durch die Nawaro AG und die jeweiligen Landwirte *rein züchterisch veränderte* Sorten für den Maisanbau gewählt (unter Begleitung der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Dedelow, die lokale Sortenversuche zum Maisanbau durchführt). Dabei kommen vorrangig trockenresistente Sorten aus lokalem Anbau zum Einsatz.

Langfristige Auswirkungen, die bei der Verwendung und Nutzung gentechnisch veränderter Maissorten auftreten könnten sowohl im Bereich des Anbaus (z. B. Wasserverbrauch und Schädlingsdruck) als auch im Bereich der Konversion (z. B. höhere Gaserträge), können gegenwärtig nicht eingeschätzt und bewertet werden.

Die Option, gentechnisch veränderte Substrate in Biogasanlagen einzusetzen, ist für alle betrachteten Anlagensysteme gleichermaßen relevant.

9.4 Tierschutz

Im Kontext der Biogasanlagenparks wird aufgrund der Anlagengröße die zunehmende Massentierhaltung diskutiert, da bei derartigen Großanlagen ein höherer Bedarf an Exkrementen erwartet wird.

Diese Argumentation lässt sich in der Praxis nicht halten, da der Betrieb von Biogasanlagen i. d. R. nicht dazu führt, die Tierhaltung zu intensivieren. Die Tierproduktion ist dagegen eher durch wirtschaftliche Erwägungen optimiert. Schweinemastbetriebe rund um Leipzig entstehen beispielsweise aufgrund einer verstärkten Fleischnachfrage in Weißenfels. Die Gülle ist dabei ein relativ kleines Problem, da sich immer eine innerbetriebliche Biogasanlage lohnt.

Der profitable Betrieb einer Biogasanlage ist zwar *prinzipiell* eine Option zur Reduktion der Entsorgungskosten für Gülle aus großen Massentierhaltungsbetrieben, der potenzielle ökonomische Anreiz ist jedoch gering: Anhand von Erfahrungen aus Dänemark, die dem Öko-Institut vorliegen zeigt sich, dass dieser Effekt nicht ausreichend groß ist, um eine zusätzliche Flächenkonzentration in der Tierhaltung zu erwirken.

Zudem wird nur ein geringer Teil des Substrats von NawaRo-Biogasanlagen aus Gülle bereitgestellt.

10 Fazit zu Teil A

Der Biogasanlagenpark Penkun weist im Vergleich zu Einzelhofanlagen sowohl Vor- als auch Nachteile auf, die im Folgenden zusammengefasst dargestellt werden.

10.1 Vorteile der Biogasparkanlagen gegenüber Einzelhofanlagen

- Geruchsemissionen: Biogasanlagenparks weisen im Vergleich zu 40 Einzelhofanlagen geringere Geruchs-Emissionen auf, da aufgrund des größeren Emissionsrisikos auf bauliche Maßnahmen zur Geruchsreduktion zurückgegriffen wird (u. a. geschlossene Behälter/Gebäude, Abluftbehandlung über Biofilter). Aufgrund der Leistungsgröße und dem höheren Kapitaleinsatz können technische Möglichkeiten zur Reduktion von Geruchsproblemen und Lärm realisiert werden (z. B. gekapselte Anlagenbereiche), die bei Einzelhofanlagen in der Praxis nicht umgesetzt werden.
- Betriebssicherheit: Im Vergleich zur Einzelhofanlagen ist beim Biogasanlagenpark eine höhere Betriebssicherheit zu erwarten (bessere Betriebsführung, professionelles Personal).
- Im Mittel (d. h. im Alltag) sind daher die Geruchsemissionen von Biogasparkanlagen geringer als bei Einzelhofanlagen, jedoch können bei Störungen aufgrund der Massenkonzentration größere Effekte kurzzeitig auftreten.
- Gärrestnutzung: Die Gärrestaufbereitung (Düngemittelproduktion) stellt in Bezug auf Lager- und Transportfähigkeit der Gärreste einen Vorteil für den Biogasanlagenpark dar, da der Depotdünger (Pellets) im Vergleich zu Einzelhofanlagen besser lager- und transportfähig ist. Aufgrund der Reduktion des Wassergehaltes der Gärrestmengen infolge der Aufbereitung zu Pellets und Flüssigdünger kann die Anzahl der Fahrten bezogen auf den Nährstoffgehalt der Gärrestdüngermengen reduziert werden. Zudem sind aufgrund der gezielten Einsetzbarkeit und Wirkungsweise der Depotdünger geringere Emissionen u. a. durch Auswaschung insbesondere von Stickstoff und Phosphor wahrscheinlich.
- Günstig ist weiterhin, dass Biogasanlagenparks gegenüber nicht optimal geführten Einzelhofanlagen spezifisch (pro eingesetzter Substratmenge) mehr Energie bereitstellen, denn die durchschnittliche Hofanlage leistet weniger Betriebsstunden pro Jahr.

10.2 Nachteile der Biogasparkanlagen gegenüber Einzelhofanlagen:

- Verkehr/Transportwege: Aufgrund des größeren Einzugsgebietes für die Substratbeschaffung erhöhen sich die durchschnittlichen Transportentfernungen beim Biogasanlagenpark im Vergleich zu Einzelanlagen.
- Substitution fossiler Energie: Im Fall einer Gärrestaufbereitung steht keine thermische Energie mehr zur Verfügung, die fossile Energieträger ersetzen könnte. Die Biogasanlage dient in diesem Fall der Stromerzeugung und anteiligen Düngemittelbereitstellung, die wiederum fossile Energie substituiert. Die Substitution fossiler Energieträger ist bei der Wärmenutzung jedoch insgesamt höher,

wenn heutige Anlagenkonzepte angenommen werden (Wärmenutzung der Einzelhofanlage 20 % oder mehr). Werden weniger als 20 % der Wärme genutzt, so ist die Emissionsbilanz der Biogasparkanlage günstiger. .

- Der Eigenstrombedarf beim Biogasanlagenpark ist tendenziell höher als bei Einzelhofanlagen (z. B. wegen längeren Förderstrecken und höherem Aufwand). In Penkun ist der erhöhte Eigenstrombedarf auf die spezifischen Anlagenkonfiguration (ca. 18 km Rohrleitung, davon ca. 2,8 km Gülleleitung) zurückzuführen. Der Eigenstrombedarf der Gärrestaufbereitung blieb aufgrund der Vergleichbarkeit mit Einzelhofanlagen bei diesem Aspekt unberücksichtigt.

Keine deutlichen Unterschiede bzw. gesicherte Aussagen konnten in Bezug auf folgende Aspekte festgestellt werden:

- Klimarelevanz:
Die spezifischen Emissionen der Biogasproduktion (CO₂-Äquiv./kWhel) sind bei der Biogasparkanlage im Vergleich zur Einzelhofanlage mit einer Wärmenutzung von etwa 20 % in gleicher Größenordnung zu erwarten. Wird der Einzelhofanlage eine höhere Wärmenutzung (Substitution fossiler Energieträger) unterstellt, so ist die Stromproduktion aus Biogas bei der Einzelhofanlage mit geringeren CO₂-Emissionen verbunden als die dargestellte Biogasparkanlage.
- Luftbelastungen durch Transporte:
Eine quantitative Einschätzung zugunsten einer speziellen Anlagenkonzeption kann hier nicht getroffen werden, da die Luftbelastungen im Einzelfall von der Anzahl der Fahrten, vom Fahrzeug und von der Zahl der Zufahrten sowie der Höhe der Biogasverluste abhängt.
- Lärm:
Aufgrund der größeren Fahrzeugzahl muss der Biogaspark als größere Lärmquellen angesehen werden als Einzelhofanlagen. Allerdings werden die jeweilig niedrigeren Lärmquellen der Einzelhofanlagen auf 40 Standorte verteilt.
- Gasnutzung:
Im Hinblick auf die Gasnutzung ist zwischen typischen Einzelhofanlagen und dem Biogaspark Penkun kein großer Unterschied zu erwarten. Gut betriebene Einzelhofanlagen produzieren netto in etwa ähnlich viel Strom wie Biogasparkanlagen, da sich die evtl. höhere Stromproduktion der Parkanlage durch den erhöhten Eigenstromverbrauch des Biogasanlagenparks nahezu ausgleicht.
- Gärreste:
Der gesamte Betrieb des Biogasanlagenparks ist von der Bearbeitung der Gärreste abhängig. Die Praxiserfahrungen der Gärrestaufbereitung des Biogasanlagenparks bleiben abzuwarten.

Als *Gesamtaussage* lässt sich festhalten, dass Biogasparkanlagen aus Klimasichtpunkten dann besser als Einzelhofanlagen zu beurteilen sind, wenn eine deutlich größere fossile Wärmesubstitution sowie eine effektivere Gasnutzung im

Vergleich zu Einzelhofanlagen erfolgt. Gut betriebene Einzelhofanlagen mit Abwärmenutzung über 20 % sind aus ökologischer Sicht besser zu bewerten als Biogasparkanlagen, deren Wärmemenge komplett für die Gärrestaufbereitung und Düngemittelproduktion verwendet wird.

Gegenüber dem Durchschnitt derzeit bestehenden Einzelhofanlagen können Biogasparkanlagen in Bezug auf Treibhausgasen und Feinstaubemissionen *besser* bewertet werden.

Bei Lärm und Feinstaub ist die *lokale* Bilanz der Biogasparkanlagen gegenüber einer Einzelhofanlage schlechter, aber die Parkanlage ersetzt die *kumulierten Effekte* von den anderen 39 Biogaseinzelhofanlagen, d. h. sie führt zu Entlastung an anderer Stelle.

Teil B: Optimierter Biogasanlagenpark

Im Vergleich zum Anlagenkonzept Penkun können in Bezug auf die Gasnutzung und die Auslegung der Fermenter und BHKW-Module Optimierungen getroffen werden, die im Folgenden detaillierter dargestellt werden. Die beschriebene Biogasgroßanlage ist eine von mehreren technischen Möglichkeiten zur Effektivitätssteigerung.

Diese Art der Großanlage wird aber bisher in Deutschland nicht realisiert. Ein entscheidender Grund ist die Struktur der EEG Vergütung, die die Reduktion der NawaRo-Bonus über 500 kW_{el} auf 4 ct/kWh und über 5 MW_{el} auf 0 ct/kWh vorsieht.

1 Beschreibung optimierter Biogasparkanlagen (Großanlage)

- Der Biogasanlagenpark wird nicht auf 40 Einzelanlagen aufgeteilt, sondern umfasst in der hier definierten Modellanlage etwa 22 Fermenter (je 3000 m³ Volumen) sowie 8 BHKW-Module mit einer elektrischen Leistung von je 2,5 MW_{el}. In der Summe entspricht die Leistung der Großanlage der des gesamten zuvor betrachteten Biogasanlagenparks.
- Für den Volllastbetrieb der BHKW-Module kann ein elektrischer Wirkungsgrad von über 40 % (Kalkuliert wird hier mit 41 %, Herstellerangaben gehen von 43 % aus) angesetzt werden. BHKW-Module dieser Leistungsklasse verfügen über höhere elektrische Wirkungsgrade, wodurch die Anlageneffizienz deutlich gesteigert werden kann:
 - Leistungssprung im Hinblick auf den elektrischen Wirkungsgrad (höhere Stromvergütung).
 - Angesichts der geringeren Zahl an Anlagenmodulen liegt der Wartungsaufwand geringer. Da die Gesamtanlage dennoch aus Modulen besteht, ist auch beim Ausfall eines BHKW ein optimaler Betrieb gewährleistet.
 - Durch ein intelligentes Gasnutzungsregime kann das Biogas auch bei Stillstand eines BHKW noch zu einem großen Teil verwertet werden, während das Gas bei Motorstillstand von Einzelanlagen abgefackelt werden muss (höherer Gasnutzungsgrad).
- Eine fossile Wärmesubstitution ist möglich und wünschenswert. Die anfallende Wärmemenge ist mit der Situation des Biogasanlagenparks vergleichbar.
- Im Hinblick auf die CO₂-Äquivalent-Einsparungen ist der Wirkungsgrad des Motors der einflussreichste Faktor (vgl. Kap. Gasnutzung) und wirkt sich damit positiv aus.
- Substratbeschaffung: Aufgrund des erhöhten Substratbedarfs ist ein größerer Einzugsbereich für die Substratbeschaffung im Vergleich zur den Einzelhofanlagen erforderlich, wodurch sich die Transportwege sowohl für NawaRo als auch für den Gülleeinsatz im Vergleich zu Einzelhofanlagen erhöhen. Im Vergleich zum Biogasanlagenpark ergibt sich keine Veränderung.

- Zentrale Gärrestaufbereitung und Vermarktung als Dünger sind wie beim betrachteten Biogasanlagenpark möglich.

1.1 Fermenterauslegung

Das Anlagenkonzept in Penkun sieht vor, jede der 40 Einzelbiogasanlagen mit etwa 35 t täglich zu beschicken. Unter Annahme der geplanten Fermentergröße von 2.500 m³ ergibt sich eine mittlere Verweilzeit von rund 70 Tagen. Diese relativ hohe Verweilzeit ist nicht nachteilig zu betrachten, denn mit zunehmender Verweilzeit ist auch eine bessere Substratnutzung verbunden, zumal ein Gärrestlager im Anlagenkonzept Penkun wegen der Düngemittelproduktion nicht vorgesehen ist und bei geringerer Verweilzeit ein höheres Restgaspotenzial gegeben wäre.

Allerdings ist bei der Großanlage eine Optimierung beispielsweise durch eine Kaskaden-Reihenschaltung der Fermenter möglich. Infolge einer Kaskadenanordnung der Fermenter ließe sich die Verweilzeit reduzieren und damit eine Einsparung im Fermentervolumen insgesamt erreichen. Anstelle von 40 Einzelanlagen mit einem Fermentervolumen von jeweils 2.500 m³ können auf diese Weise 22 Fermenter mit 3.000 m³ Fermentervolumen eingesetzt werden (Tabelle 9). Die Fermentergröße von 3000 m³ ist prinzipiell realisierbar, handelbar und in der Praxis bewährt.

Tabelle 9: Fermenterauslegung

	Substrat- einsatz pro Fermenter	mittlere Verweilzeit	Volumen Einzelfermenter	Anzahl Fermenter	Fermenter- volumen gesamt
	m ³ /d	d	m ³		m ³
Biogaspark Penkun	35	71	2.500	40	100.000
Großanlage (Kaskade)	62,5	48	3.000	22	67.200

Aufgrund der Kaskadenkonstellation der Fermenter kann eine verkürzte Verweilzeit von 100 auf 48 Tage erreicht werden. Zudem wird das Substrat deutlich effizienter genutzt und es können höhere Gasausbeuten (m³ Biogas/kg oTS) erzielt werden. Das bedeutet, neben der Reduktion des Fermentervolumens kann zudem eine bessere Substratnutzung erreicht werden, da die Fermenteranordnung in Kaskaden den sog. Substratschlupf minimiert (Abbildung 2). Bei der vorgeschlagenen Kaskadenanordnung könnten demnach 11 Fermenterlinien parallel geschaltet werden, wobei jede dieser 11 Fermenterlinien jeweils aus 2 Fermentern in Reihe angeordnet ist. Das Fermentervolumen lässt sich somit von 100.000 m³ auf rund 67.000 m³ reduzieren.

Durch die Reihenschaltung zweier Fermenter ist aufgrund des geringeren TS-Verlustes, der in Abbildung 2 zu sehen ist, mit einer höheren Substratausnutzung zu rechnen. Eine exakte Quantifizierung der erhöhten Gasausbeuten kann an dieser Stelle jedoch nicht erfolgen.

Die genannten Möglichkeiten der Optimierung sind prinzipiell auch bei kleineren Einzelbiogas-Anlagen möglich, werden aber aus Kostengründen zumeist nicht

realisiert. In der Größenordnung einer 20 MW-Anlage können wesentlich umfangreichere Technologieoptimierungen durchgeführt werden, die sich auch wirtschaftlich lohnen.

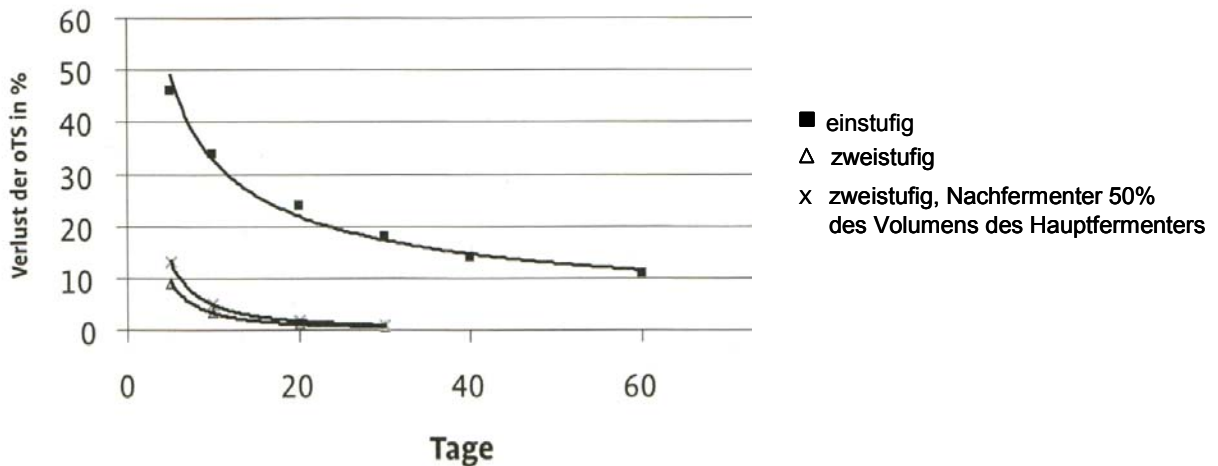


Abbildung 2: Verluste unvergorener organischer Substanz bei volldurchmischtem Rührkessel und der Vergärung von Roggenschrot (nach Görsch/Helm /1/)

1.2 Gasnutzung

Durch eine Gasverbindung zwischen den Fermentern und den Einsatz größerer BHKW-Module mit höheren Wirkungsgraden anstelle kleiner BHKW-Module können Effizienzsteigerungen erreicht werden, da bei gleicher Biogasproduktion mehr Strom produziert werden kann.

Die energetisch optimale Gasnutzung ist ein entscheidendes Kriterium zur Beurteilung der sinnvollsten Anlagenkonfiguration. Sie wirkt sich sowohl auf die elektrische und die thermische Energienutzung, auf die ökologische Bewertung der Biogas-Nutzungsvarianten als auch auf die Kosten der Biogasproduktion aus.

Einzelhofanlagen und Biogasparkanlagen werden in diesem Kapitel auf die Aspekte BHKW-Dimensionierung, Gasaufbereitung und Bereitstellung von Regelenergie untersucht.

2 BHKW-Dimensionierung

In Bezug auf die BHKW-Dimensionierung verhalten sich der Biogasanlagenpark und 40 Hofanlagen sehr ähnlich (siehe Kap. 6.2). Jede der 40 Biogasanlagen verstromt das produzierte Gas in einem 500 kW_{el} BHKW. Im Gegensatz dazu könnte eine zentrale Biogasanlage mit 8 BHKW a 2,5 MW_{el} die gleiche Biogasmenge verstromen.

Im Vergleich der Nutzungsoptionen liegen die Unterschiede vor allem in den Wirkungsgraden, im Teillastverhalten und im Anteil des verwerteten Gases.

2.1 Wirkungsgrad

Ein 500 kW_{el} BHKW hat, wenn es optimal betrieben und gewartet wird, im laufenden Biogasbetrieb einen elektrischen Wirkungsgrad von durchschnittlich ca. 38 %. Hersteller geben oft höhere Werte an (z. B. 40 %). Diese sind aber unter optimalen Motorprüfstandsbedingungen ermittelt worden, d. h. unter Volllastbetrieb, mit einem definierten Methan/Kohlendioxid-Gemisch sowie bei neuen, warmen und optimal gewarteten Motoren.

Die Praxisbedingungen von Biogasanlagen weichen von diesen optimalen Bedingungen erheblich ab. Die Biogasproduktion lastet die Motoren nur im Teillastbetrieb aus, die Biogaszusammensetzung ist Schwankungen unterlegen und mit Spurenstoffen versetzt. Besonders der Schwefelwasserstoffgehalt sorgt für Motorkorrosion und erhöhten Ölwechselbedarf. Aufgrund von Reparatur-, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten steht der Motor an über 500 h/a. Beim wieder Anfahren ist er abgekühlt, was den elektrischen Wirkungsgrad zusätzlich schmälert.

Im Gegensatz zu 40 kleineren BHKW kann bei dem Einsatz von 2,5 MW_{el} BHKW ein höherer elektrischer Wirkungsgrad erreicht werden. Die Hersteller geben in dieser Leistungsgröße ca. 43 % an. Mit „Praxisabschlag“ sind ca. 41 % erreichbar, zumal der optimale Betrieb von 8 BHKW eher zu realisieren ist, als bei 40 BHKW.

Im Vergleich zu 40 Einzel-BHKW-Modulen je 500 kW_{el} kann bei 8 BHKW-Module mit je 2,5 MW_{el} demnach das Biogas mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 41 %, statt mit 38 % verstromt werden. **Somit kann, bei gleicher Biogasproduktion ca. 8 % mehr elektrischer Strom erzeugt werden.** Oder, anders betrachtet, kann mit 8 % weniger Aufwand und dementsprechend geringeren Emissionen die gleiche Strommenge produziert werden.

In Bezug auf den thermischen Wirkungsgrad gilt ähnliches wie beim elektrischen Wirkungsgrad. Die Angaben von Biogas-BHKW-Herstellern geben bei 500 kW_{th} Modulen thermische Wirkungsgrade zwischen 39 und 46 % an, bei 2,5 MW BHKW mit ca. 44 %. Die Hofanlagen können diese Wärmemenge zumeist nicht vollständig nutzen weshalb der thermische Wirkungsgrad eher unwichtig ist.

Aber im Fall eines Anlagenparks oder einer Großanlage bestehen aufgrund der wesentlich erhöhten thermischen Leistung deutlich mehr Möglichkeiten, die thermische Energie zu nutzen. Viele Anwendungsmöglichkeiten scheitern aufgrund der Unwirtschaftlichkeit der Nutzung bei Leistungen um 500 kW_{th}.

Im Fall der Nutzung von beispielsweise 20 MW_{th} ergeben sich möglicherweise zahlreiche Anwendungsfelder, die aufgrund technischer und wirtschaftlicher Beschränkungen den kleinen Leistungsgrößen vorenthalten sind.

Einige potenzielle Anwendungen sind die Wärmenutzung in einer ORC-Anlage (Organic-Rankine-Cycle) zur Stromerzeugung aus der BHKW-Abwärme, was im 500 kW_{el} Bereich nicht wirtschaftlich lohnend ist, und die Nah- oder Fernwärmenutzung (500 kW_{el} Biogasanlagen sind auf einen Einzugsradius von etwa 500 m beschränkt, 20 MW-Anlagen können die Wärme in einem wesentlich erhöhten Nutzungsradius anbieten).

In Bezug auf Anlagenleistungen um 20 MW_{th} ist demnach ein höherer thermischer Wirkungsgrad der Motore oft auch sinnvoll nutzbar. Dies betrifft sowohl den Anlagenpark Penkun als auch den optimierten Biogasanlagenpark. Die thermischen Wirkungsgrade der größeren Motore liegen mit ungefähr 44 % etwas höher als die ca. 42 % der kleineren Motoren. Die „Praxisabschläge“ fallen hier niedriger aus, weil bei weniger optimalem Strombetrieb zumeist mehr thermische Energie ausgekoppelt werden kann. Auch im Teillastbetrieb steigt der thermische Wirkungsgrad der BHKW nach Angaben einiger Hersteller. Im Vergleich von Großanlage und Anlagenpark kann demnach bei 2,5 MW Motoren ca. 5 % mehr thermische Energie genutzt werden.

Im Falle des Biogasanlagenparks Penkun soll der Gärrest getrocknet werden. Ein höherer thermischer Wirkungsgrad wäre möglicherweise sinnvoll nutzbar, da die Trocknung von Gärresten ein sehr energiereiches Verfahren ist. Jedenfalls ist sichergestellt, dass keine zusätzlichen fossilen Energieträger eingesetzt werden müssen. Auch ist anzumerken, dass die Trocknung von Gärresten keinen Ersatz fossiler Energien darstellt (siehe Kap. 7).

2.2 Teillastverhalten

Die Produktion von Biogas unterliegt, auch bei möglichst konstanter Substratzufuhr, zeitlichen Schwankungen (in Bezug auf m³ Biogasproduktion pro Stunde). Diese Schwankungen können nur sehr bedingt vom Biogas-Speicher ausgeglichen werden. Biogasspeicher sind in ihrer Ausführung drucklos (unter anderem aus wirtschaftlichen, aus sicherheitsrelevanten und genehmigungstechnischen Gründen). Im Falle einer 500 kW Biogasanlage werden ca. 250 m³/h Biogas erzeugt, was die Speicherkapazität auf ca. 4 Stunden beschränkt, da wesentlich größere Speicher als 1.000 m³ aus technischen und Kostengründen selten realisiert werden. [Eine Großanlage mit 20 MW_{el} Motorleistung würde demnach ca. 10.000 m³/h Biogas produzieren, was noch kleinere drucklose Speicherzeiten oder Druckspeicher (mit höherem technischen und wirtschaftlichem Aufwand) zur Folge hätte.]

Die Schwankungen der Biogasproduktion liegen in Größenordnungen von ca. 10 bis 20 % und sind zeitlich träger als mittels Speicher ausgeglichen werden kann. Wird berücksichtigt, dass die Kosten eines Kubikmeter Biogas wesentlich stärker vom Substratpreis abhängig sind als von der Anlageninvestition, sollte das BHKW so groß dimensioniert werden, dass es die produzierte Biogasmenge immer sicher verwerten

kann (zumindest in den Betriebsstunden des BHKW). Denn im Zweifelsfall wäre es wesentlich günstiger in ein größeres BHKW zu investieren, als das kostenintensiv gewonnene Biogas abzufackeln. Da das BHKW immer das Biogas verwenden können sollte, wird es zumeist im Teillastbetrieb gefahren (im Jahresdurchschnitt bei etwa 90 % Teillast).

Die Verwendung von 8 Motoren beim optimierten Anlagenpark hätte in Bezug auf die Effektivität der Gasnutzung einige Vorteile. Zum einen können 6 - 7 der acht Motore immer im Volllastbetrieb gefahren werden, was höhere elektrische Wirkungsgrade zu Folge hat. Der achte Motor läuft im Teillastbetrieb. Insgesamt ist der elektrische Wirkungsgrad von siebenmal Volllastbetrieb und einmal Teillastbetrieb höher als wenn alle Motoren mit 80 – 100 % Auslastung gefahren werden. Jedenfalls lassen sich mit 8 Motoren eher optimierte Gasnutzungsregime verwirklichen als mit nur einem Motor.

In Bezug auf die Stromerzeugung muss festgestellt werden, dass ein Verbrennungsmotor weniger Lärm verursacht als mehrere Anlagen mit gleicher Gesamtleistung. Dies ist insbesondere relevant, da der BHKW-Betrieb in der Regel rund um die Uhr erfolgt. Zwar kann eine entsprechende Einhausung der einzelnen Anlagen erfolgen und Schalldämpfer in Abluftkamin bzw. in Zu- und Abluftöffnungen eingebaut werden. Doch muss auch für alle Einzelmodule gewährleistet sein, dass entsprechend Türen, Tore und Fenster des Generatorhauses beim Betrieb der Motoren geschlossen gehalten werden.

3 Gasnutzung der Biogas-Großanlage

Noch besser stellt sich die Gasnutzung im Fall der optimierten Variante dar. Diese an einem Standort stehenden BHKW können am besten und mit den geringsten spezifischen Kosten gewartet werden. Zudem müsste im Fall des Stillstandes eines BHKW (wegen Reparatur-, Instandhaltungs- und Wartungszeiten) nicht das ganze Gas abgefackelt werden. Stattdessen können 7 Motore weiterhin mit Volllast betrieben werden und nur das teillastbetriebene BHKW wird für Wartungszwecke abgestellt. Da dieses im Jahresdurchschnitt nur sehr gering ausgelastet wäre, und weiterhin 7 mal Volllast gefahren werden kann, reduziert sich der abgefackelte Gasstrom von ca 8 % im Einmotor-Betrieb auf unter 3 % im 8 Motor-Betrieb.

[Beispielrechnung $500 \text{ kW}_{\text{el}}$: $8.100/8.760$ entspricht 6,4 % Stillstand;

Beispielrechnung $20 \text{ MW}_{\text{el}}$: durchschnittliche Gaserzeugung entspricht 90 % der Volllast somit $18 \text{ MW}_{\text{el}}$. Mit 7 betriebenen BHKW á $2,5 \text{ MW}_{\text{el}}$ können $17,5 \text{ MW}_{\text{el}}$ Strom produziert werden, auch wenn ein BHKW steht.]

Die geringsten Gasverluste würden entstehen, wenn die 40 Motore des Anlagenparks (alle im Teillastbetrieb) über eine verbindende Gasleitung gekoppelt wären. Bei Ausfall auch mehrerer Motoren, könnte über die laufenden BHKW das gesamte produzierte Biogas immer sicher genutzt werden, denn die Ausfallzeiten jeden Motors sind mit ca. 9 % niedriger als die Motorreserven durch Teillastbetrieb (ca. 10 %).

An diesem Gasnutzungsregime ist zu erkennen, dass mit mehreren Motoren eine bessere Gasnutzung im Vergleich zum Ein-Motor-Betrieb möglich ist. Dabei wäre allerdings zu berücksichtigen, dass sich die elektrischen Wirkungsgrade für 40 Motore negativ im Vergleich zu den 8 Motoren auswirken.

Zudem können wenige Motore (z. B. 8 Stück) leichter optimal gewartet werden als 40 Motore, was eine Erhöhung der Betriebsstunden über 8.200 h/a möglich macht.

Werden die elektrischen Wirkungsgradverbesserungen und die optimierte Gasnutzung in Rechnung gestellt, wird bei gleicher Gasmenge mit der optimierten Variante ca. 13 % mehr elektrischer Strom produziert. Zusätzlich sind bessere Gasausbeuten zu erwarten (Kap. 1.1), so dass die Großbiogasanlage in Bezug auf die emittierten CO₂-Äquivalente pro kWh Strom um mindestens 15 % besser zu bewerten ist als die Einzelhofanlagen oder der Biogasanlagenpark.

4 Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität

Die mögliche *Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität* und die Einspeisung in das Gasnetz bzw. der Verkauf von Treibstoff ist eine derzeit viel diskutierte Nutzungsoption für Biogas. Unter bestimmten Randbedingungen (die im Folgenden beschrieben werden) stellt sich die Aufbereitung von Biogas energetisch, ökologisch und wirtschaftlich günstiger dar als die übliche Vor-Ort-Verstromung von Biogas. Außerdem hat sich die deutsche Gaswirtschaft am 24.03.2006 in einer Selbstverpflichtung erklärt, bis zum Jahr 2010 10 % und bis 2020 20 % des Erdgasabsatzes, der als Fahrzeugtreibstoff verwendet wird, mit Biogas zu substituieren. Im konkreteren Einzelfall sind je nach Standortbedingungen einige gastechnische Details zu klären (z. B. Gasqualität, aufnehmbarer Gasvolumenstrom, Druckstufe des Erdgasnetzes).

Das Institut für Energetik und Umwelt gGmbH war an der Ausarbeitung von zwei großen Studien zur Gaseinspeisung maßgeblich beteiligt. Die Aussagen dieses Kapitels beziehen sich hauptsächlich auf diese Studien /3/, /4/.

Die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität ist in einigen Ländern Europas Stand der Technik. In Deutschland hat sie u. a. aufgrund des Innovationsbonus im EEG (2 ct/kWh_{el}) wirtschaftliche Bedeutung erhalten.

Die spezifischen Kosten der Biogasaufbereitung sinken immens bei zunehmender Leistungsgröße. So kostet die Aufbereitung von Biogas auf Biomethan in einer Leistungsgröße von 50 m³/h ca. 5 ct/kWh_{el}, bei 250 m³/h ca. 1,7 ct/kWh_{el} und bei einem Volumenstrom von 500 m³/h ca. 1,2 ct/kWh_{el}. Höhere Volumenströme wurden nicht untersucht. Aber, da die Technik der Trennung der Gaskomponenten aus der Erdgasverarbeitung (große Volumenströme) stammt und für die Biogasanwendung eher das Problem der Kleinskalierung besteht, ist damit zu rechnen, dass die Kosten bei einem Volumenstrom von 10.000 m³/h (möglicherweise deutlich) unter 1 ct/kWh liegen werden. Insofern bieten sich zur Thematik, Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität, drei mögliche Anwendungen an. Die Einspeisung in das Erdgasnetz und die mit EEG vergütete Verstromung an anderem Standort, die Aufbereitung und Vor-Ort-Verstromung und die Nutzung des Biomethans als Kraftstoff. Eine Wärmeer-

zeugung ist dagegen vor dem Hintergrund der aktuellen Förderpolitik erneuerbarer Energien aus aufbereitetem Biogas nicht wirtschaftlich darstellbar.

In Deutschland besteht infolge des derzeitigen Standes der Rahmengesetzgebung vor Allem an der Durchleitung von Biogas durch das Erdgasnetz mit anschließender Stromerzeugung bei gleichzeitiger Wärmenutzung (d. h. Kraft-Wärme-Kopplung) an Standorten mit hoher Wärmenachfrage einerseits und der Bereitstellung von Kraftstoff aus Biogas in Erdgasqualität an vorhandenen Erdgas-Tankstellen andererseits Interesse. Voraussetzung für beide Nutzungsvarianten ist die Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität, da Biogas eine wesentlich vom Erdgas abweichende Qualität aufweist

Tabelle 10: Zusammensetzung von Biogasen im Vergleich zu Erdgas

Substanz	Biogas	Klärgas	Erdgas
Methan	50 – 70 %	60 – 70 %	93 – 98 %
Kohlendioxid	25 – 40 %	30 – 40 %	1 %
Stickstoff	< 3 %	4 %	1 %
Sauerstoff	< 2 %	1 %	-
Wasserstoff	Spuren	Spuren	-
Schwefelwasserstoff	bis 4 000 ppm	bis 1 000 ppm	-
Ammoniak	Spuren	Spuren	-
Ethan	-	-	< 3 %
Propan	-	-	< 2 %
Siloxane	Spuren	< 6 mg/m ³	-

Derzeit werden verstärkt Möglichkeiten untersucht, den Energieträger Biogas zum Ort der Energienachfrage zu transportieren (aufgrund der Energiedichte im Biogas ist dies ökonomisch und ökologisch sinnvoller als die Biogassubstrate zu transportieren und Biogasanlagen in der Nähe entsprechender Wärmesenken zu errichten). Der Transport kann in einer eigens für das Biogas installierten Gasleitung (was bei größeren Entfernungen meist sehr teuer und aufgrund der Flächen-Besitzverhältnisse auch logistisch aufwändig ist) oder durch das (bereits vorhandene) Erdgasnetz erfolgen.

Ein derartiger Transport durch das Erdgasnetz muss nach dem Energiewirtschaftsgesetz unter Berücksichtigung der Kapazität der Leitungen grundsätzlich zugelassen werden. Dabei sind aber die gültigen Richtlinien der DVGW erfüllen. Demzufolge ist das einzuspeisende Biogas auf die Qualität des Erdgases, das in dem jeweiligen Gasnetz vertrieben wird, aufzubereiten, um Erdgaskunden eine gleich bleibende Qualität garantieren zu können. Eine derartige Aufbereitung wird bereits in Schwe-

den, Frankreich, den Niederlanden und der Schweiz seit einigen Jahren erfolgreich durchgeführt.

Die Vorteile der Biogas Aufbereitung, Einspeisung in das Gasnetz und BHKW-Nutzung an anderer Stelle sind:

- EEG-Vergütung zusätzlich 2 ct/kWh_{el} Innovationsbonus
- Höherer Wärmeabsatz am Ort der BHKW-Nutzung möglich
- Somit auch höherer kWK-Bonus
- Höherer Wirkungsgrad des BHKW (Erdgasbetrieb)
- Längere Lebensdauer des BHKW (Erdgasbetrieb)
- Geringere Betriebskosten des BHKW (Erdgasbetrieb)

Dem gegenüber stehen der höhere technische, ökonomische und organisatorische Aufwand eines Biogas-Einspeiseprojektes mit vielen beteiligten Akteuren. Und eine gewisse Rechtsunsicherheit sowie wenige praktische Erfahrungen in Deutschland.

In der Betrachtung der untersuchten drei Anlagenkonzeptionen (40 Hofanlagen, Anlagenpark, 20 MW Großanlage) ist festzustellen, dass sich die Aufbereitung von kleineren Volumenströmen (250 m³/h entspricht verstromt ca. 500 kW_{el}) nur selten unter vorherrschenden Standortbedingungen wirtschaftlich darstellen lässt. Günstige Standortbedingungen sind beispielsweise: Wenig Wärmenutzung vor Ort und hoher Wärmeabsatz an anderer Stelle, Erdgas in L Gasqualität, Einspeisung des Biogas als Zusatzgas (geringerer Methangehalt als Erdgas) und Hochdruckleitung um 4 bar zur Einspeisung). In der Regel wird jedoch bei 500 kW_{el} Anlagen die lokale Verstromung im BHKW die vorherrschende Gasnutzung sein. Im Fall des Biogasanlagenparks Penkun wird die mit dem elektrischen Strom erzeugte Wärmemenge zur Gärresttrocknung verwendet womit die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität nicht sinnvoll sein wird.

Ganz anders sind die Möglichkeiten einer 20 MW_{el} Großanlage. Da die spezifischen Aufbereitungskosten (deutlich) unter 1 ct/kWh_{el} liegen, könnte sich schon die Vor-Ort-Verstromung von aufbereitetem Biogas ohne Einspeisung in das Gasnetz lohnen. Denn die Erlöse aufgrund des Innovationsbonus decken schon in etwa die Aufbereitungskosten. Zusätzlich können aber die Vorteile der Methanverstromung genutzt werden (hoher Wirkungsgrad, geringere Wartungskosten, längere Lebensdauer der BHKW).

Ebenfalls steht die Einspeisung des Gases in das Erdgasnetz offen. Diese Anwendung kann sehr lukrativ sein wenn das BHKW an anderem Standort einen wesentlich höheren Wärmenutzungsanteil hat als am Standort der Biogasanlage. In diesem Fall wirkt sich die Gasnutzung aufgrund der Wärmegutschrift auch ökologisch und energetisch positiv aus.

Alternativ zur Verstromung kann auch die Kraftstoffnutzung ein interessanter Anwendungsfall sein. Denn die EEG Vergütung ist auf 20 Jahre stabil festgelegt (bei Kosten-Inflation während des langjährigen Biogasbetriebes). Die Biomethan-

Kraftstoffnutzung wird dagegen mit steigendem Erdgaspreis immer lukrativer. Schon jetzt könnte bei einer Größenordnung von 10.000 m³/h möglicherweise ein wirtschaftlich lohnender Treibstoff bereitgestellt werden. Ökologisch (in Bezug auf die Emittierten CO₂-Äquivalente pro Fahrzeugkilometer) ist die Biogas-Kraftstoffanwendung fast um den Faktor 2 günstiger zu bewerten als Erdgas. Benzin und Diesel stehen ökologisch noch als wesentlich schlechter dar.

Die Nutzungsmöglichkeiten der Biomethanherstellung lassen sich, wie erwähnt nur bei hohen Volumenströmen realisieren und führen allerdings aufgrund der nicht mehr vorhandenen Abwärme am Anlagenstandort dazu, dass die Wärme nicht mehr zur Gärrestaufbereitung zur Verfügung steht und damit höhere Transportaufwendungen für die Gärreste notwendig wären.

5 Bereitstellung von Spitzenstrom

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Nachfrage von Strom im Verlauf jeden Tages, hat dieser einen tageszeitspezifisch unterschiedlichen Preis. Eine Stromvergütung kann prinzipiell nur nach EEG oder in Eigenvermarktung erfolgen. Durch das Doppelvermarktungsverbot wird ausgeschlossen, dass zu weniger attraktiven Zeiten die Vergütung nach EEG und in Spitzenzeiten per Eigenverkauf des Stromes erfolgt. Somit gibt es keinen Spielraum des Stromversorgers nur den Spitzenstrom, über das EEG hinaus, mit erhöhten Erlösen zu vergüten.

In der Eigenstromvermarktung lassen sich die höchsten Strompreise am Minutenreservemarkt erzielen. Da es sich dabei um Zeiträume von wenigen Minuten handelt ist diese Option mit typischen Biogas-BHKW nicht relevant.

Auch könnte die Vermarktung auf dem Börsenspotmarkt mit mindestens 10, eher 12 bis 14 ct/kWh erfolgen. Dabei handelt es sich um Zeiträume von 100 bis 300 Stunden im Jahr. Auch diese Möglichkeit ist für Biogasanlagen nicht interessant. Denn neben einem sehr teuren Druckgasspeicher, der fast eine ganze Jahresproduktion Biogas aufnehmen kann, müsste das BHKW um den Faktor 40 größer dimensioniert werden, um das Biogas an 200 Stunden im Jahr statt an 8.000 Stunden im Jahr zu verstromen.

Die für Biogasanlagen interessanteste Eigenvermarktungsstrategie könnte perspektivisch darin bestehen, täglich den Spitzenstrom zu erzeugen und zu vermarkten. Beispielsweise lassen sich für Strom in einer Zeit von 8 – 20 Uhr wesentlich höhere Erlöse erzielen als zu Nachtzeiten. Die Speicherung von 12 Stunden der Gasproduktion ist auch mit üblichen drucklosen Speichern möglich, wenn auch aufwendig. In der betrachteten Variante der Großanlage müsste aber, mit erheblichem Aufwand verbunden, ein Druckgasspeicher betrieben werden. Das BHKW muss nur um den Faktor ca. 2 größer als bei der sofortigen Verstromung dimensioniert werden bzw. ein zweites BHKW und ein größerer Gasspeicher angeschafft werden. Der erzielbare Preis kann in dieser Anwendung heute mit ca. 80 €/MWh, also ca. 8 ct/kWh erwartet werden. Dabei ist die Tendenz dieser Preise eher steigend.

Für landwirtschaftliche 500 kW Biogasanlagen, die ausschließlich mit Nawaro betrieben werden, ist die EEG Vergütung zur Zeit deutlich attraktiver. Im Fall großer Abfallbehandlungsanlagen oder Reststoffvergärungsanlagen, die keinen Nawaro Bonus erzielen, könnte die Eigenstromvermarktung mit steigendem Strompreis in Zukunft interessant werden. Da eine 20 MW Großanlage eine durchschnittliche EEG-Vergütung von etwas über 10 ct/kWh (plus KWK-Bonus) erzielen kann, ist die Strom-Eigenvermarktung erst in Zukunft relevant.

Der Stromabsatz wäre garantiert, der Erlös richtet sich nach dem jeweiligem Börsenpreis. Mehrere Biogasanlagen können als Gemeinschaftsanlagen mit einem Vertrag zusammengefasst werden um die Verwaltungs-Gebühren zu reduzieren, um die Stromleistung in relevanter Größenordnung anzubieten sowie eine gewisse Ausfallsicherheit zu gewährleisten.

Derzeit ist demnach bei allen untersuchten Varianten die vorgesehene EEG Vergütung die empfehlenswerte Variante. In Zukunft könnte, bei steigendem Strompreis, die Variante der Eigenvermarktung von Strom zur Tagesstunden (Speicherung der Biogasproduktion in der Nacht) eine interessante Alternative sein. Für kleinere Anlagen (beispielsweise 500 kW_{el}) wird sich diese Nutzungsoption wesentlich seltener positiv darstellen als für Großanlagen (20 MW_{el}).

6 Energie- und Klimabilanzen

- Bei dem Bau von Großanlagen könnten unerwünschte Methanemissionen in Bezug auf die produzierten Biogasmengen wesentlich leichter vermieden werden (deutlich weniger Flanschverbindungen, geringere Gasspeicherfolien-Oberfläche u. a.).
- Etwa 1/3 bis 1/2 weniger Materialverbrauch im Vergleich zu 40 Einzelanlagen (Einzelhofanlagen und Anlagenkonzept Penkun); weniger Pumpen, Rohrleitungen etc.; allerdings ist der Einfluss des Bau und Abrisses von Anlagen (Materialeinfluss) in Bezug auf die vermiedenen CO₂-Äquivalente eher gering
- Um den Materialaufwand und Energieverbrauch für einzelne Bauteile – und somit auch die Kosten – möglichst gering zu halten, sollten die Module eines Parks jedoch möglichst groß ausgelegt werden (Park mit wenigen Großanlagen statt vielen Kleinanlagen).
- Lärmemissionen größerer BHKW-Module durch doppelte Lärmisolierung / schallisolierte Tür sind im Vergleich zu Einzeltüren der BHKW-Container von Einzelanlagen bzw. Biogasanlagenpark Penkun geringer zu beurteilen

- Ggf. bessere Wärmenutzung möglich, Kosten für Wärmenutzungsoptionen in der großen Leistungsgröße rentabler und damit umsetzbar, ggf. durch Aufbereitung und Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz höhere Wärmenutzung an gezieltem Standort im Vergleich zur Einzelhofanlage möglich, wo durchschnittlich lediglich 10 - 30% der Wärme genutzt werden kann

Mit steigender Anlagengröße (Biogasanlagenpark) sind prinzipiell höhere elektrische Wirkungsgrade aufgrund größerer BHKW-Module erreichbar, so dass bei gleicher Gasproduktion mehr elektrische Energie (etwa 10%) bereitgestellt werden kann.

Diese Mehrproduktion an Strom geht mit der Einsparung klimarelevanter Gase einher, so dass größere Anlagen aufgrund der effizienteren Gasnutzung höhere Einsparungen an klimarelevanten Gasen aufweisen können und demzufolge unter Klimagesichtspunkten besser als Einzelhofanlagen zu beurteilen sind.

Die Option der Verbindung der Gasleitungen in Kombination mit größeren BHKW-Modulen führen zu einer höheren Effizienz der Stromproduktion. Derzeitige EEG-Vergütungen sind für einen Anlagenpark – wie in der optimierten Konzeption dargestellt – jedoch für einen wirtschaftlichen Betrieb nicht ausreichend. Daher werden die optimierten Biogasparkkonzepte derzeit nicht umgesetzt. Zudem fehlen Langzeiterfahrungen mit großen Biogas-BHKW-Modulen.

7 Fazit zu Teil B

Auf Basis der qualitativen Analyse bietet das optimierte Biogasparkanlagenkonzept (Großanlage) die meisten Vorteile. Im Gegensatz zum Anlagenpark Penkun sieht ein optimierter Biogasanlagenpark eine zentrale Gasnutzung sowie den Einsatz größerer BHKW-Module mit höheren elektrischen Wirkungsgraden vor. Auf diese Weise kann eine vergleichsweise höhere Stromproduktion (mindestens 13 – 15 %) erreicht werden, die mit dementsprechend geringeren Emissionen in Form von CO₂-Äquivalenten verbunden sind. Zudem ist der spezifische Materialbedarf beim Einsatz größerer Fermenter und BHKW-Module im Vergleich zu Einzelanlagen geringer, wodurch sich die Aufwendungen für den Bau und den Abriss der Anlage verringern.

Da keine abschließende Bewertung möglich ist, aber alle Optionen Vor- und Nachteile haben, sind detaillierte Untersuchungen erforderlich.

Ökologisch betrachtet ist eine optimierte Anlagenkonzeption eines Biogasanlagenparks (Großanlage) sinnvoll und technisch realisierbar. Derzeit findet diese Anlagenoptimierung jedoch keine Umsetzung, da derartige Anlagenkonzeptionen unter der derzeitigen Regelung der EEG-Vergütungssätze nicht wirtschaftlich darstellbar sind.

Literaturverzeichnis

- /1/ Görisch, U., Helm, M.: Biogasanlagen. Planung, Errichtung und Betrieb von landwirtschaftlichen und industriellen Biogasanlagen. Stuttgart, 2006
- /2/ ASUE (Arbeitsgemeinschaft für Sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch) e.V.: BHKW-Kenndaten 2005
- /3/ FNR e.V.: Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz. Gülzow, 2006.
- /4/ Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: Analyse und Bewertung von Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse, Band 2: Aufbereitung und Einspeisung von Biogas in Erdgasnetze. Verbundprojekt unter der Leitung des Wuppertal Institutes, im Auftrag des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, 2005
- /5/ <http://www.markteichendorf.de/documents/Immissionsgutachten.pdf>
- /6/ Reitberger (Hrsg.) 2002: Emissionsminderungsmöglichkeiten bei Biogasanlagen - entlang der Prozesskette Biogaserzeugung. 17. Oktober 2002. BayLfU Fachtagung 2002.
- /7/ NawaRo AG: Vorhabensbeschreibung Biogaspark Penkun
- /8/ FNR e.V.: Ergebnisse des Biogas-Messprogramms. Gülzow, 2005
- /9/ Globales Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.4; Internet-release auf der website www.gemis.de durch das Öko-Institut im Februar 2007
- /10/ Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: Optimierung der Energiebilanz von Biogasanlagen durch Analyse der Verwendung von Biomasse sowie Untersuchung der Möglichkeiten der Abwärmennutzung und der Kooperation, Teilbericht Arbeitspaket 1, 2006

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Äquiv.	Äquivalent
Bh	Betriebsstunden
BHKW	Blockheizkraftwerk
d	Tag
el	Elektrisch
h	Stunde
ha	Hektar
i. d. R.	in der Regel
K	Kalium
Kap.	Kapitel
kW	Kilowatt
MW	Megawatt
N	Stickstoff
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
P	Phosphor
PM	Particulate Matter
th	thermisch
u. a.	unter anderem
Vgl.	verglichen

Anhang: Protokoll - Anlagenbesichtigung Penkun

Besprechungsprotokoll zu: Biogaspark Penkun	Datum:	20.10.2006
	Ort:	Penkun/Mecklenburg-Vorpommern, Biogaspark Nawaro-AG
	Erstellt durch/am:	Michael Seiffert
Teilnehmer: Herr Schünemann (Nawaro-AG) Herr Werner (Nawaro-AG) Herr Seiffert (IE)		

Zeit: 10.00 – 13.00 Besprechung Schünemann/Werner/Seiffert
13.00 – 14.00 Besichtigung Biogaspark

Themen:

Substrate

Maissilage – 20-25 %

Gülle – 10-15 % (Mischung Rind/Schwein)

Getreide – 2-2,5 % (Mischung aus Weizen/Roggen/Gerste – Zugabe in geschroteter Form)

Wasser – 10 %

Rezirkulat – restlicher Anteil

Derzeitig finden konventionelle Maissorten Einsatz, die unter standorttypischen Bedingungen seit mehreren Jahren von Landwirten angebaut werden. Basierend auf den Erfahrungen der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Dedelow (Sortenbegleitung) wählt die Nawaro-AG gemeinsam mit Landwirten entsprechendes Saatgut für den Maisanbau aus. Für Demonstrationszwecke wurden 38 Sorten von 12 Saat-zuchtbetrieben angepflanzt um Masseurträge sowie Wuchsverhalten (besonders unter trockenen Bedingungen) aufzuzeigen. Die Nutzung von Gentechnisch verändertem Mais für die Biogaserzeugung stellt eine Zukunftsoption für die Nawaro-AG dar.

Substratpreise

Für Mais gilt entsprechend den Aussagen der Nawaro-AG eine Staffelung der Preise, wobei Qualitäten mit einem Trockensubstanzgehalt von 28 – 35 % einen Preis von 25 €/t erreichen, geringere Qualitäten werden entsprechend abgewertet bis zu einer

Preisuntergrenze von 22 €/t. Die Kosten die für den Transport der Silage entstehen werden durch die Nawaro-AG getragen. Für das Saatgut erfolgt eine Vorfinanzierung durch die Nawaro-AG, wobei der Landwirt diese Kosten mit der ersten Silagelieferung gegen gerechnet bekommt.

Gras als Substrat wird aufgrund zu hoher Preise abgelehnt.

Für Getreide werden nach Angaben der Nawaro-AG derzeit Preise von 120 bis 140 €/t bezahlt. Inklusiv sind dabei die Kosten für das Schroten von Getreide.

Für Rindergülle werden je m³ gegenwärtig 2,80 € gezahlt, wohingegen für Schweinegülle noch keine Preise feststehen.

Lieferverträge

Die Lieferverträge mit landwirtschaftlichen Unternehmen werden auf 10 Jahre ausgelegt wobei auch der Lieferpreis für 10 Jahre gebunden ist.

Substratherkunft

Sowohl Mais als auch Gülle stammen aus einem Umkreis von 40 km um den Biogaspark Penkun. Getreide wird wegen gestiegener Nachfrage in Deutschland auch aus weiter entlegenen Regionen (Polen) bezogen. Vorrangig landwirtschaftliche „Großbetriebe“ (300 – 3000 ha) aus Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg sowie Polen beliefern die Nawaro-AG mit Rohstoffen. 50 % der Substrate werden in Polen generiert, wobei es das Ziel der Nawaro-AG ist ein Verhältnis von 2/3 Bereitstellung aus Deutschland sowie 1/3 Bereitstellung aus Polen zu erlangen.

Einkaufslogistik

Die Einkaufslogistik wird für den gesamten Biogaspark Penkun gestaltet. Dabei wird Gülle aus der Rinder- und Schweinehaltung zentral angeliefert (Gülspeicher) währenddessen der Antransport von Maissilage und Getreideschrot zu jeder einzelnen Biogasanlage erfolgt.

Substratverteilung

Die Substratverteilung von Gülle erfolgt über eine Doppelrohrleitung die vom zentralen Annahmebehälter aus jede einzelne Biogasanlage mit Substrat versorgt. Maissilage wird in einer Annahmestelle (Schüttgasse) dezentral an jeder Biogasanlage angenommen und anschließend über einen Schubboden weiter in einen Bunker transportiert.

Gemeinsam mit Getreideschrot, das ebenfalls dezentral in jede Anlage geliefert wird, und Gülle wird die Silage innerhalb von 4-6 min. im so genannten Anmischkeller vermischt und über ein Rohrsystem mittels Pumpentechnik in den Fermenter geführt.

Neben diesen Substraten wird jeweils Prozesseigenes Rezirkulat sowie Wasser zugegeben.

Standardzusammensetzung:

- 20-25 % Maissilage
- 10-15 % Gülle (Rind/Schwein)
- 10 % Wasser
- 2-2,5 % Getreideschrot
- Restmenge mit Rezirkulat

In jedem Fermenter (2.500 m³ Inhalt) werden pro Tag 22,5 – 25 t Substrat benötigt, abhängig von der Qualität der Inhaltsstoffe.

Lagerung des Substrates

Rinder- und Schweinegülle werden nach der Anlieferung durch zwei lokale Transportunternehmen (LKW Transport) in einem zentralen Behälter auf dem Biogasparkgelände gelagert, wobei gleichzeitig das Substrat homogenisiert wird. Für die Bereitstellung der Maissilage werden Fahrsilos (4.000 – 10.000 t) landwirtschaftlicher Unternehmen genutzt. Durch Transportunternehmen erfolgt das Verladen und Abfahren der Silage. Auf dem Gelände des Biogasparcs wird Maissilage in einem Bunker dezentral an jeder Biogasanlage für mehrere Tage vorrätig gelagert. Ebenso wird Getreideschrot in Hochsilos dezentral an jeder Anlage gelagert. Die Lagerung des Rezirkulats erfolgt in einem an den Fermenter angeschlossenen Silo.

Verkehr

Pro Tag werden 900 bis 1.000 t Substrat angeliefert, wobei ausschließlich LKW für den An-Transport genutzt werden. Dabei werden mit jedem LKW 25 t Substrat angeliefert.

Die Substratbereitstellung erfolgt aus den Regionen Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Polen und umfasst einen Radius von ungefähr 40 km um den Biogaspark Penkun.

Von den landwirtschaftlichen Fahrsilos in einem Umkreis von 40 km erfolgt die Anlieferung der Maissilage. In naher Zukunft sollen in der Nähe des Biogasparcs Penkun größere Fahrsilos angelegt werden, in welchen Mais eingelagert werden kann.

Die nächste Wohnbebauung befindet sich in einer Entfernung von 2 km zur Biogasanlage.

Wärmenutzungskonzept

Die gesamte Wärme, die nicht für den Prozess (frostfreie Lagerräume, Silos, Fermenter) benötigt wird, findet in dem so genannten „Düngemittel-Werk“ Einsatz. Dabei werden die ausgepressten Gärreststoffe unter Beimischung von Zuschlagstoffen (z. B. N,P,K) mit der vorhandenen Abwärme getrocknet. Nach Angaben der Nawaro-AG beläuft sich die thermische Leistung auf 20 MW.

Gärrestlagerung

Die Gärrestlagerung der pumpfähigen Reststoffe erfolgt in einem zentralen Gärrestbehälter der ein Fassungsvermögen von 15.000 t besitzt.

Gärrestausbringung

Die Ausbringung der Gärreste aus der Anlage erfolgt über ein Doppelrohrleitungssystem in den Gärrestbehälter. Nach der Abtrennung des Rezirkulats (Umkehr Osmose) von den Feststoffen werden die Gärreste in die Düngemittelfabrik geführt und anschließend getrocknet. Ziel der Nawaro AG ist es, nach Absprache mit Kunden (z. B. Landwirte die Maissilage liefern, Gartenbauunternehmen etc.) die Gärreststoffe mit Zuschlagstoffen (Stickstoff, Kalium, Phosphor) zu Komplettdüngern aufzuwerten. Die Vermarktung soll sowohl im Bereich von Kleinkunden (5kg, 25kg Beutel) als auch von Großabnehmern erfolgen (50kg Säcke, Big pack).

Gasnutzung

Das aus der Vergärung gewonnene Biogas wird mittels BHKW der Firma Jenbacher verstromt. Für die Speicherung des Gases ist ein auf jedem Fermenter installiertes Zelt vorgesehen. In dieser Gasblase können 280 m³ Biogas aufgefangen werden.

Bei Ausfall bzw. Wartung des BHKW kann das entstehende Biogas nicht umgeleitet werden, da keine Verbindungen (Gasleitungsbereich) zwischen den Fermentern vorliegen. Mittels Fackelanlagen wird überschüssiges Gas abgebrannt.

Substratumleitung

Die Umleitung von Substrat zwischen den Fermentern ist nicht möglich, da ebenso wie im Gasbereich keine baulichen Verbindungen zwischen den Anlagen existieren. In Problemfällen wird entweder die Zufütterung zurückgefahren oder das überschüssige Gas wird mittels Fackel abgebrannt.