



# Empfehlungen zur Auslegung, zum Betrieb und zur Optimierung von Biogasanlagen

Ergebnisse einer Untersuchung in der Altmark



CORDES + WINTERBERG  
BIOPROZESSE \_ Beratung | Entwicklung

Deutsches BiomasseForschungszentrum **DBFZ**  
gemeinnützige GmbH



# Ergebniskurzfassung des Projekts "Repowering landwirtschaftlicher Biogasanlagen der Altmark"

Auftraggeber



Regionale Planungsgemeinschaft  
Altmark  
Ackerstraße 13  
29410 Salzwedel

Auftragnehmer

**CORDES + WINTERBERG**  
BIOPROZESSE – Beratung | Entwicklung

CORDES + WINTERBERG GbR  
Seestraße 2A  
39175 Biederitz (Magdeburg)

Unterauftragnehmer



Deutsches  
Biomasseforschungszentrum gGmbH  
Torgauer Straße 116  
04347 Leipzig



IGZ BIC Altmark GmbH  
Arneburger Straße 24  
39576 Stendal

fachlich unterstützt durch

KonaRo Koordinierungsstelle Nachwachsende  
Rohstoffe Sachsen-Anhalt (Bernburg)

Projektförderung



Regionalverein Altmark e. V.  
Projektbüro Bioenergie-Region Altmark  
Arneburger Straße 24  
39576 Stendal



Bundesministerium für  
Ernährung, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz

Projektträger



Fachagentur Nachwachsende  
Rohstoffe e. V. (Gülzow)

Autoren

**Kapitel 2, 4 und 6**

Dipl.-Biol. Dr. Ralf Winterberg (Cordes+Winterberg)

**Kapitel 3, 5 und 6**

Dipl. Biotechnol. Elmar Fischer (DBFZ)

Dipl.-Ing. Jan Postel (DBFZ)

Dipl.-Geogr. Nadja Rensberg (DBFZ)

Dipl.-Umweltwiss. Jaqueline Daniel-Gromke (DBFZ)

Dr. Walter Stinner (DBFZ)

**Datenbank *Altmärkische Biogasanlagen 2011***

Dipl. Ing. agr. Heiko Böker (IGZ BIC Altmark)

Ort

Biederitz (Magdeburg), Leipzig und Stendal,

Datum

26.06.2012

## Kontaktdaten der Autoren

Dr. Ralf Winterberg  
**Cordes+Winterberg GbR**  
Seestraße 2A  
39175 Biederitz

fon 03 92 92 / 66-3 51  
fax 03 92 92 / 66-9 46  
mobil 01 70 / 9 01 08 55  
e-mail [winterberg@bioprozesse.de](mailto:winterberg@bioprozesse.de)

Elmar Fischer  
**Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH**  
Torgauer Straße 116  
04347 Leipzig

fon 03 41 / 24 34-4 52  
fax 03 41 / 24 34-1 33  
e-mail [elmar.fischer@dbfz.de](mailto:elmar.fischer@dbfz.de)

Heiko Böker  
**Innovations- und Gründerzentrum BIC Altmark GmbH**  
Arneburger Straße 24  
39576 Stendal

fon 0 39 31 / 6 81-5 56  
fax 0 39 31 / 6 81-4 43  
e-mail 01 60 / 90 32 18 73  
e-mail [heiko.boeker@bic-altmark.de](mailto:heiko.boeker@bic-altmark.de)

## Inhalt

1	Vorwort.....	5
2	Daten- und Informationserfassung: Fragebögen und Interviews.....	6
2.1	Methodisches Vorgehen .....	7
2.2	Biogasanlagen der Altmark .....	7
2.3	Optimierungsbedarf aus Sicht der Betreiber .....	8
3	Substratkonzept: Die Suche nach Alternativen zum Mais.....	10
4	Anlagenlayout und Bioprozess: Gasertrag erhöhen, Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz verbessern.....	13
4.1	Hirsens als Mais-Alternative aus bioprozesstechnischer Sicht.....	13
4.2	Energieverluste durch offene Anmaisch-, Hydrolyse- und Versäuerungsstufen .....	14
4.3	Methanertrag, Verweilzeit und Raumbelastung.....	14
4.4	Sonstige Maßnahmen zur Erhöhung des Methanertrags .....	19
4.5	Methanverluste durch Überdruck .....	21
4.6	Methanverluste durch offene Gärrestlager .....	22
5	Wärmenutzung: Schwachpunkt vieler Biogasanlagen.....	23
5.1	Getreidetrocknung.....	24
5.2	Exkurs: Gärresttrocknung.....	25
5.3	Abwärmenutzung zur Milchkühlung.....	25
5.4	Resümee zur Wärmenutzung.....	26
6	Fazit.....	28
7	Informationsquellen .....	29

## 1 Vorwort

In der Altmark, bestehend aus dem Altmarkkreis Salzwedel und dem Landkreis Stendal, wurden im Jahr 2010 65 Biogasanlagen betrieben. Die überwiegende Zahl der Betreiber und Bewirtschafter können auf Basis des EEG auf einen stabilen Betriebszweig "Biogas" verweisen. Anlagenstillegungen aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen sind extreme Ausnahmen. Dennoch wird im Rahmen von Fachgesprächen oder individuellen Beratungsgesprächen immer wieder deutlich, dass ein mehr oder weniger ausgeprägter Bedarf der Anlagenoptimierung besteht. Es ist aber auch erkennbar, dass Verbesserungsmöglichkeiten nicht immer erkannt werden.

Das Programm Bioenergieregionen des BMELV und der FNR bot nun die Möglichkeit, den Optimierungsbedarf systematisch zu erfassen, auszuwerten und Empfehlungen zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Biogasanlagen zu erarbeiten.

Die vorliegende Broschüre fasst die wichtigsten Ergebnisse der Projektarbeit kurz zusammen. Sie soll Betreibern und Bewirtschaftern Anregungen zur weitergehenden Professionalisierung des Anlagenbetriebs geben.

## 2 Daten- und Informationserfassung: Fragebögen und Interviews

### 2.1 Methodisches Vorgehen

Die Untersuchungen zur Optimierung landwirtschaftlicher Biogasanlagen der Altmark wurden in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Aktualisierung der Datenbanken zum Bestand landwirtschaftlicher Biogasanlagen
2. Befragung der Betreiber von 65 altmärkischen Biogasanlagen mittels eines Fragebogens
3. Auswertung der Fragebögen und Auswahl von 6 Anlagen für eine detailliertere Bearbeitung
4. Interviews mit 6 Betreibern
5. Auswertung der gewonnenen Daten und Erarbeitung von Empfehlungen zur Optimierung der Biogasanlagen
6. Öffentlichkeitsarbeit (Stammtische, Vorträge, vorliegende Broschüre)

Die Untersuchung konzentriert sich auf folgende Aspekte der Biogaserzeugung:

1. Substratkonzept
2. Anlagenlayout und Bioprozess
3. Wärmenutzung

Die Technik steht dagegen im Hintergrund, da zu diesem Thema umfassende Analysen und Handlungsanleitungen vorliegen (KTBL 2009, UBA 2009, Hochschule Ingolstadt 2010, LfL 2010).

### 2.2 Biogasanlagen der Altmark

Nach einer Auswertung der Datenbanken des IGZ BIC Altmark (Stendal) und der KonaRo (Bernburg) im Frühjahr 2011 lag die Zahl der im Betrieb befindlichen Biogasanlagen der beiden Altmarkkreise Salzwedel und Stendal bei 65. Weitere 40 Anlagen befanden sich im Bau oder in der Planung. Nur der geringere Anteil der Biogasanlagen, die im Frühjahr 2011 an das Stromnetz angeschlossen waren, wurden durch die ansässigen Landwirtschaftsbetriebe oder durch regional ansässige Investoren betrieben (40 %), 60 % der Anlagen durch nicht regionale Investmentgesellschaften. Während sich die Landwirtschaftsbetriebe mit einer Rücklaufquote der Fragebögen von 62 % sehr rege an der Projektarbeit beteiligten, blieben die externen Investmentgesellschaften sehr zurückhaltend (Tabelle 1).

Tabelle 1: Kategorien der Anlagenbetreiber und ihre Reaktion auf die schriftliche Befragung (Fragebögen)

Betreiber	erfasst	geantwortet	Anteil
Agrarbetriebe/regionale Investoren	26	16	62 %
nicht regionale Investmentgesellschaften	39	2	5 %
Alle Betreiber (Anlagen in Betrieb bis 2010)	65	18	28 %

Die Anlagen wurden von einer Vielzahl unterschiedlicher Planer und Hersteller errichtet. Die 18 Betreiber, deren Fragebögen ausgewertet wurden, betreiben Anlagen von 9 unterschiedlichen Herstellern bzw. Planern.

Ohne Ausnahme nutzen die altmärkischen Biogasanlagen das erzeugte Biogas zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung. Die elektrische Leistung der Biogas-BHKW der 18 detaillierter bearbeiteten Anlagen lag zwischen 190 und 716 kW (Durchschnitt: 420 kW). Zum Zeitpunkt der Erfassung war noch keine Biogasanlage zur Einspeisung von Biomethan in das Erdgasnetz in Betrieb.

Als Substrate wurden ausschließlich landwirtschaftliche Substrate bzw. mit dem "NawaRo-Bonus" des EEG kompatible Substrate verwertet. Keine Anlage wurde als Bioabfallanlage genutzt.

### 2.3 Optimierungsbedarf aus Sicht der Betreiber

Die Befragung der Betreiber zur Zufriedenheit mit dem Gesamtsystem "Biogasanlage" hat deutlich gezeigt, dass nur wenige gravierende Mängel der Biogasanlagen angegeben wurden, dass aber sehr häufig ein "mittlerer Handlungsbedarf" gesehen wird (Abbildung 1).

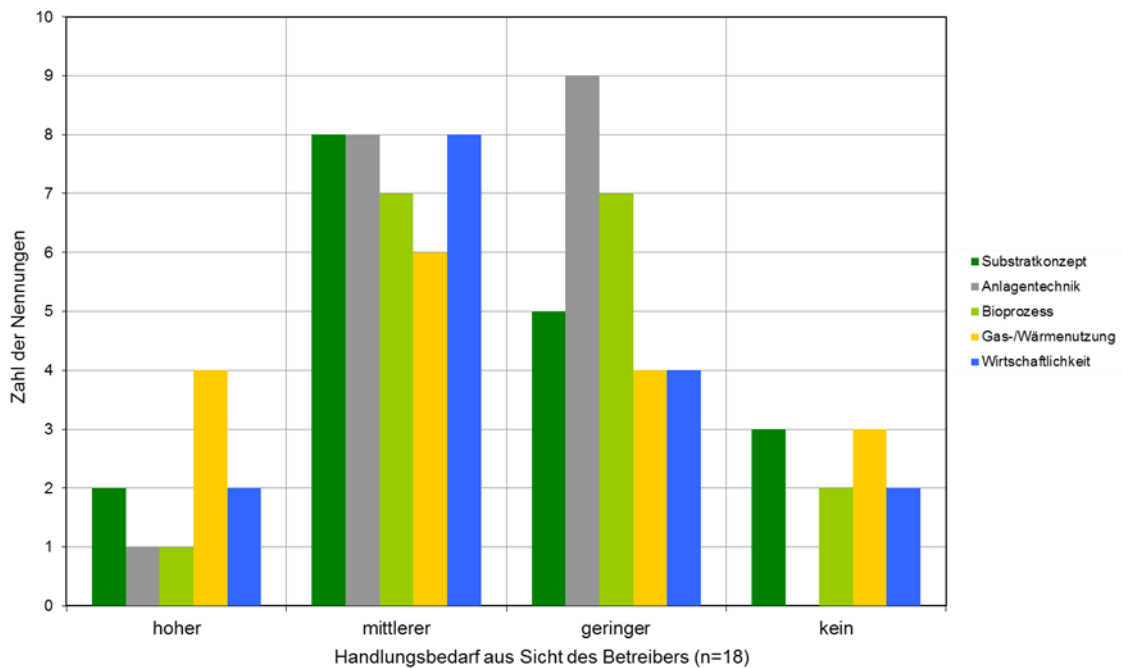


Abbildung 1: Optimierungsbedarf aus Sicht der Betreiber altmärkischer Biogasanlagen



Folgende Punkte beschäftigen die Betreiber besonders:

1. Substratversorgung: Zahlreiche Betreiber bemühen um preisgünstige und ökologisch verträgliche Alternativen zum Mais. Bislang werden vor allem Grassilage und Zuckerhirsesilage diskutiert und auch schon praktisch erprobt.
2. Technik: Vor allem die Substrateinbringung, die Mess- und Regeltechnik sowie das BHKW bereiten häufig Probleme. Ein Viertel der Betriebe beklagt einen zu hohen Wartungsaufwand.
3. Anlagenlayout und Bioprozess: Niedrige Methanerträge und Schaumbildung sind die mit Abstand häufigsten Probleme der altmärkischen Biogasanlagen.
4. Wärmenutzung: In der fehlenden oder zu geringfügigen externen Wärmenutzung liegt ein erhebliches Optimierungspotenzial derjenigen Biogasanlagen, die kein Nahwärmenetz mit ausreichender Netzbelegungsichte versorgen können.

### 3 Substratkonzept: Die Suche nach Alternativen zum Mais

Die Optimierung von Substratkonzepten bei bestehenden Anlagen erfordert die Beachtung vieler Faktoren. Vor allem sind hier folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Regionale oder betriebliche Substratverfügbarkeit (v. a. Menge, jeweilige Kosten, jeweilige Ertragsrisiken einzelner Energiepflanzen, Verhältnis von Produktionskosten/Durchschnittserträgen/Ertragsausfallrisiken, Konkurrenzsituation von Energiepflanzen zu anderen Betriebszweigen, Einfluss auf Pachtmarkt, Akzeptanz, betriebliche und regionale Nährstoffbilanzen)
- Synergie- oder auch Dysergieeffekte in Verbindung mit anderen, gut verfügbaren oder vorliegenden Substraten (v. a. Abbaugeschwindigkeit, Prozessstabilität, C:N-Verhältnis, Mikronährstoffgehalte, Rühr- und Pumpfähigkeit, mögliche Einbindung in Fruchtfolgen)
- vorhandene Technik bzw. geplante technische Anpassungen (v. a. Rühr- und Pump-technik, Verweilzeit, Anlagenkonfiguration und -technik (z. B. Substratzuführtechnik, Restgaserfassung)

Die Auswertung der Umfrageergebnisse zeigt aus Betreibersicht einen mittleren Handlungsbedarf im Bereich der Substratkonzepte (vgl. Abbildung 1). Genannt werden vor allem die Aspekte Ertragsrisiko, Flächenbedarf/Pachtpreise/Anbaukosten, Akzeptanz der Energiepflanzen und Fruchtfolge/Pflanzenbau. Als Optimierungsansätze werden zum einen die stärkere Nutzung vorhandener Wirtschaftsdünger (Festmist) und verfügbarer Grünlandflächen und zum anderen die teilweise Umstellung der Energiepflanzenproduktion auf Hirsen, ggf. Ungarisches Steppengras, genannt. Der Einsatz von Hirse wird bereits mit unterschiedlichem Erfolg praktiziert.

Beim Überblick über die Anlagen in der Altmark fallen zwei Aspekte auf:

1. In den Anlagen der Altmark werden hohe bis sehr hohe Anteile landwirtschaftlicher Reststoffe, v. a. Wirtschaftsdünger, Silagereste und eher ungenutzte Grünlandsilagen eingesetzt. Hier scheint eine Ausweitung der Nutzung dieser Substrate noch möglich. Unter den Gesichtspunkten Klimaschutz und Nachhaltigkeit ist das zu begrüßen. Gewisse Schwierigkeiten bestehen bezüglich der Bewertung dieser Substrate und der Anlageneffizienz im Hinblick auf die Substratqualität. Die Anlagenbetreiber sollten auf möglichst direkten Eintrag der Gülle in die Biogasanlagen ohne längere Zwischenlagerung achten sowie den Eintrag von Regenwasser in die Gülle vermindern. Beim Einsatz von Siloabraum sollte unbedingt auf sehr gute Silohygiene geachtet werden. Gerade bei diesem eher ungünstigen Substrat sollten Atmungsverluste und Toxinbelastungen durch zu lange Lagerung im Silobereich vermieden werden.
2. Die Verweilzeiten fast aller Anlagen der Altmark sind, unter Berücksichtigung der eingesetzten Substrate, als eher knapp bis extrem knapp zu bewerten.

Der Handlungsbedarf im Bereich der Energiepflanzenbereitstellung umfasst:

- die genannten Optimierungsbedarfe in den Bereichen Ertragsrisiko, Flächenbedarf/Pachtpreise/Anbaukosten, Akzeptanz von Energiepflanzen und Fruchtfolge Pflanzenbau,
- die jetzt schon substratbezogen knappen Verweilzeiten, eher niedrigen Relativerträge vieler Anlagen (und teils bestehenden prozess- rühr- und pumptechnischen Risiken) sowie
- die Erweiterung der Nutzung von Wirtschaftsdüngern und überschüssigen Grünlandaufwüchsen.

Generell sind die Flächen der Region sehr heterogen bezüglich der Bodenqualität und Wasserversorgung (Grundwasserferne). Nicht zuletzt aus diesem Grund müssen die substratseitigen Empfehlungen einzelbetrieblich kritisch geprüft werden.

Folgende **Empfehlungen** können für die Anlagen in der Region Altmark abgeleitet werden:

- Um die eingesetzten und zusätzlich verfügbaren Substrate effizienter nutzen zu können, sind bei fast allen Anlagen dringend Maßnahmen zur Erweiterung des Gärvolumens, mindestens jedoch die gasdichte Abdeckung der Gärrestlager anzuraten.
- Ergänzend sollte über den Einsatz von Aufbereitungstechnik (Voraufschlussverfahren) nachgedacht werden, die den Abbau beschleunigen können.
- Bei den Anlagen mit zu geringer Verweilzeit ist zu prüfen, inwiefern der Substrateinsatz reduziert werden kann, um die Ausnutzung des Substrates zu verbessern und gleichzeitig Substratkosten zu reduzieren.
- Vor dem Hintergrund der jetzigen, substratbezogen knappen Verweilzeiten, der eher niedrigen Relativerträge vieler Anlagen, der teils bestehenden prozess-, rühr- und pumptechnischen Risiken sowie der bei einigen Anlagen möglichen und sehr sinnvollen Erweiterung der Nutzung von Wirtschaftsdüngern und überschüssigen Grünlandaufwüchsen, ist beim Einsatz von Energiepflanzen der Anbau und Einsatz schnell abbaubarer Substrate anzuraten. Das teilweise eingesetzte Getreidekorn (Schrot) ist unter den Gesichtspunkten Fruchtfolgegestaltung, Flächeneffizienz, Konkurrenz zur Tierproduktion und Akzeptanz kritisch zu sehen. Unter diesem Gesichtspunkt wird als praxistaugliche einjährige Energiepflanze der Anbau von Rüben (Zucker- oder Futterrüben) empfohlen. Sie sind sehr schnell abbaubar, vermindern so das Problem der zu kurzen Verweilzeiten und der teils schwierigen rühr- und pumptechnischen Situation und können so auch bei den anderen Substraten die Methanausbeute erhöhen. Ihre generell hohe Flächenproduktivität und ihr Vermögen, nach Trockenzeiten den Blattapparat neu zu bilden und dann weiter zu wachsen, können bei zeitweiser Trockenheit die Konkurrenzsituation zu anderen Betriebszweigen entschärfen. Natürlich müssen die Ertragsexpectationen trotz dieser Vorteile in angemessenem Verhältnis zu den recht hohen Kosten stehen. Auf die weiteren pflanzenbaulichen Aspekte sei hier nur verwiesen (FORUMUE 2011). Topinamburknollen als ebenfalls leicht abbaubare Substrate, in Verbindung mit der Krautnutzung auch mit hohen Flächenproduktivitäten, werden hier wegen geringer Praxisrelevanz nicht berücksichtigt.
- Die teils angedachte und bereits genutzte Energiepflanze Hirse (Zuckerhirse oder Sudangras) wird trotz höherer Trockenheitstoleranz für die Anlagen der Altmark ohne Erweiterung des Faulraumes im Allgemeinen nicht empfohlen. Die Abbaugeschwindigkeit von Hirsen ist meist geringer als die von Mais. Grund sind die meist gegenüber den derzeitigen Maissorten noch höheren Ligningehalte und der fehlende oder geringe Stärkegehalt. Dies wird eher noch nicht durch hohe Zuckergehalte bei Zuckerhirsen ausgeglichen. Diese Aspekte müssen in Relation zu möglichen anbauseitigen Vorteilen gestellt werden, solange die Verweilzeiten nicht verlängert sind.
- Unter dem Aspekt der häufig niedrigen Erträge, der hohen Kosten und der hohen Ertragsausfallrisiken scheint auf der anderen Seite die Nutzung robuster, trockenheitstoleranter, mehrjähriger Kulturen sinnvoll. In ungünstigen Jahren hat dies den Vorteil, dass wenigstens die Kosten für Saatgut und Bestellung eingespart werden (günstiges Verhältnis von Produktionskosten/Durchschnittserträgen/Ertragsausfallrisiken). Die bisherigen Ergebnisse deuten auf besondere Vorteile des ungarischen Steppengrases hin. Durch effiziente Nutzung der Niederschläge über Winter bis zum Frühjahr und auch im Spätsommer/Herbst, scheint es hohe Erträge zu erreichen. Mit den hohen

Erträgen sollen Eigenschaften wie hohe Trockenheitstoleranz und gute Methanausbeute verbunden sein. Der Anbau dieser und anderer mehrjähriger Kulturen sollte aber zunächst auf kleineren Flächen ausprobiert werden, um Betriebserfahrungen zu sammeln. Das wahrscheinlich langsame Abbauverhalten solcher mehrjähriger Substrate scheint durch mögliche Kosteneinsparungen und Vorteile beim Anbau gerechtfertigt. Da die bestehende Situation der knappen Verweilzeiten jedoch verschärft wird, ist unbedingt eine Kombination mit dem schnell abbaubaren Substrat Rüben angeraten.



Abbildung 2: Anbau von Zuckerrüben

## 4 Anlagenlayout und Bioprozess: Gasertrag erhöhen, Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz verbessern

### 4.1 Hirsen als Mais-Alternative aus bioprozesstechnischer Sicht

Hirsen sind unter bestimmten Bedingungen (Trockenheit, Wärme) eine interessante Alternative zum Energiemais (Boese 2010, Ebel 2010, Jäkel 2011, Strauß 2011). Die bisher vorliegenden Untersuchungen konzentrieren sich allerdings auf die pflanzenbaulichen und betriebswirtschaftlichen Aspekte der Hirsekultivierung.

Zum Verhalten der Hirsesilage im Fermenter besteht dagegen erheblicher Untersuchungsbedarf. Der KTBL-Richtwert für den oTS-spezifischen Methanertrag der "Sorghumsilage" liegt um 6 % niedriger als der Richtwert für Maissilage (KTBL 2010). Dies kann mit einem im Vergleich zum Mais erhöhten Anteil des in der Biogasanlage nicht abbaubaren Ligninanteils erklärt werden: Untersuchungen zur Substratzusammensetzung haben gezeigt, dass die Faser- und Ligninanteile der Hirsen im Vergleich zum Mais deutlich erhöht sind (ATB 2009, Tabelle 2). Der Methanertrag sinkt mit steigendem Ligninanteil (Kaiser 2007). Auch die Sortenwahl hat einen Einfluss auf die Anbauflächen- und oTS-spezifischen Methanerträge (Mahmood 2012).

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung von Mais- und Hirsesilagen (Daten: ATB 2009)

Abkürzungen: XL: Rohfaser (Strukturkohlenhydrate)  
NDF: neutral detergent fibre (Summe der Gerüstsubstanzen, also Hemicellulosen, Cellulose und Lignin)  
ADF: acid detergent fibre (NDF ohne Hemicellulosen)  
ADL: acid detergent lignin (ADF ohne Cellulose)

Substrat	XF (% von TM)	NDF (% von TM)	ADF (% von TM)	ADL (% von TM)
Mais	21,1-24,1	39,0-47,6	23,9-26,6	3,1-3,9
Futterhirse	30,3	48,6	31,1	5,8
Zuckerhirse	29,6-32,5	50,9-58,3	35,9-38,0	5,9-6,8
Sudangras	28,4-30,7	50,4-59,2	32,4-38,2	3,1-6,9

Höhere Faseranteile bewirken in Fermentern in der Regel einen langsameren Substratabbau, so dass die Methanerträge aus Hirsen in eher kleinvolumigen Fermentern im Vergleich zu Mais gering ausfallen, während in großvolumigen Biogasanlagen mit langer Verweilzeit der Ertragsunterschied kaum auffällt.

#### Empfehlung: Hirsevergärung nur bei langen Verweilzeiten

Der Einsatz von Hirsen (Zucker- und Futterhirse, Sudangras) in Biogasanlagen mit unterdurchschnittlich kurzer Verweilzeit ist also nicht empfehlenswert, solange es nicht gelingt, speziell an die Bedürfnisse des Biogasanlagenbetreibers angepasste Hirsesorten zu züchten.

In Biogasanlagen mit langen Verweilzeiten ist dagegen der Einsatz von Hirsesilagen unproblematisch, wenn der etwas geringere Methanertrag, der vor allem auf den im Vergleich zum Mais erhöhten Ligninanteil zurückzuführen ist, akzeptiert wird.

## 4.2 Energieverluste durch offene Anmaisch-, Hydrolyse- und Versäuerungsstufen

Hydrolyse- und Versäuerungsstufen werden in der Regel bei pH-Werten betrieben, die niedriger als 6 sind. Unter diesen für Methanbakterien ungünstigen Bedingungen werden Energieverluste und negative Auswirkungen auf das Klima durch Methanemissionen weitgehend vermieden. Dies konnte durch eine Untersuchung des DBFZ auch an Großanlagen nachgewiesen werden (Liebetau 2011).

Steigt jedoch, z. B. durch intensive Rezirkulation von Gärrückstand, der pH-Wert auf Werte oberhalb von 6 an, ist mit nennenswerten Methanemissionen zu rechnen. Sie können sogar ein Ausmaß erreichen, das hinsichtlich des Explosionsschutzes kritisch ist (Effenberger 2010).

In der Praxis wenig bekannt ist, dass säurebildende Bakterienmischkulturen Wasserstoff als energiereiches Produkt erzeugen. Viele wasserstoffbildende Bakterien wachsen schnell und erreichen auch bei kurzen Verweilzeiten hohe Substratabbaugrade. Während der Wasserstoff im Fermenter zur Methanbildung genutzt wird, wird er in Hydrolyse- und Versäuerungsstufen als Gärprodukt freigesetzt, wenn die Lebensbedingungen für wasserstoffverwertende Methanbakterien schlecht sind. Zur Wasserstoffbildung in Hydrolyse- und Versäuerungsstufen landwirtschaftlicher Biogasanlagen liegen nur sehr wenige Untersuchungen vor. Eine Untersuchung der Universität Hohenheim im Technikum hat gezeigt, dass eine offene Hydrolyse- und Versäuerungsstufe, die mit Maissilage bei einer Verweilzeit von 10 Tagen betrieben wurde, den Methanertrag um 8-12 % durch die Emission von Wasserstoff verringerte (Preißler 2008). Immerhin ist Wasserstoff, anders als Methan, kein Treibhausgas. Im Rahmen von Explosionsschutzkonzepten ist es jedoch unter Umständen zu berücksichtigen, auch wenn es in einschlägigen Regelwerken im Zusammenhang mit Biogasanlagen bislang keine Berücksichtigung findet.

### **Empfehlung: Anmaischer, Hydrolyse- und Versäuerungsstufen gasdicht ausführen**

Um Energieverluste durch die Emission energiereicher Gase (Methan, Wasserstoff) sicher zu vermeiden, sollten Reaktoren und Anmaischer, die den Fermentern vorgeschaltet sind, möglichst gasdicht geschlossen werden. Gasdichte Systeme sind am Markt verfügbar.

Da offene Behälter außer Methan und Wasserstoff auch andere Gase (Schwefelwasserstoff und Ammoniak) emittieren können, die auch aus Arbeitsschutzgründen kritisch zu sehen sind, werden offene Hydrolyse- und Versäuerungsreaktoren mittlerweile von einigen Institutionen abgelehnt (Effenberger 2010).

## 4.3 Methanertrag, Verweilzeit und Raumbelastung

Aufgrund der Kinetik biochemischer und mikrobiologischer Umsetzungen steigt der Biogas- bzw. Methanertrag in Biogasanlagen mit zunehmender Verweilzeit an, bis ein Maximalwert erreicht wird. Dieser Zusammenhang wird überlagert durch weitere Einflussfaktoren:

1. Substratart und -qualität
2. Substrataufbereitung
3. Anlagenkonzept (z. B. einstufige, zweistufige oder Pfropfenstromanordnung)
4. Fermentationstemperatur und
5. Betriebsmanagement (z. B. Dosierfrequenz, Gleichmäßigkeit der Substratzusammensetzung, Nährstoffversorgung)

Diese Faktoren beeinflussen den Methanertrag. Dennoch ist die Verweilzeit über alle Systemunterschiede hinweg der in der Regel entscheidende Faktor. Dies zeigt Abbildung 3.

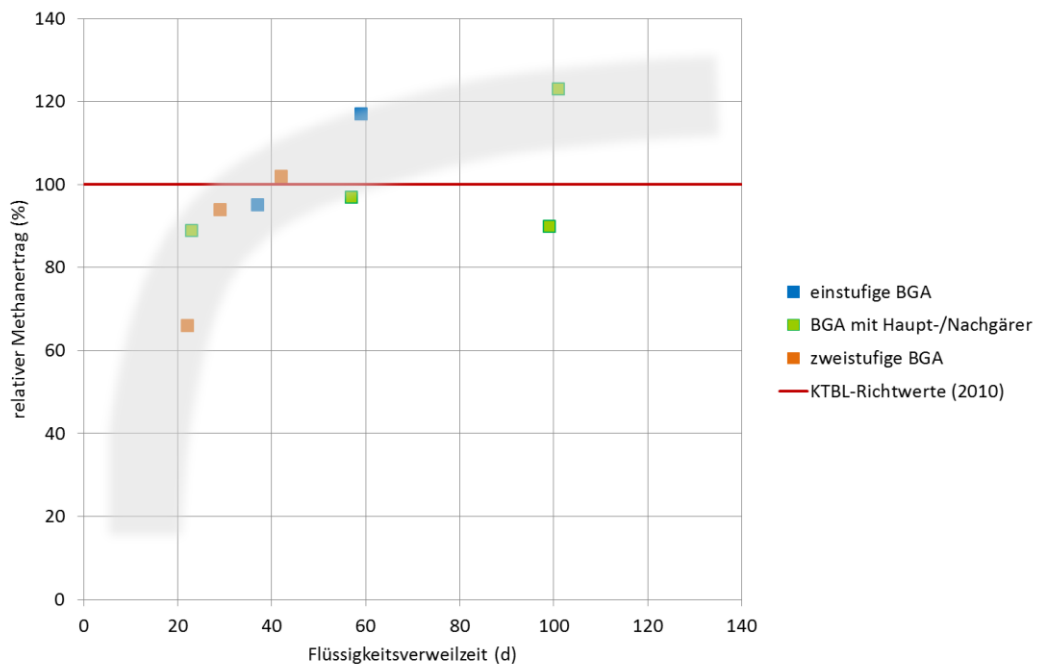


Abbildung 3: Einfluss der Flüssigkeitsverweilzeit altmärkischer Biogasanlagen auf den relativen Methanertrag (ermittelt durch Vergleich mit Richtwerten nach KTBL (2010) – Werte oberhalb von 100 % sind durchaus realistisch, da die KTBL-Richtwerte nicht die maximale Methanausbeute darstellen, sondern für die Praxis typische Werte)

Es wird sehr deutlich, dass gerade im Bereich kürzerer Verweilzeiten geringfügige Volumenunterschiede der Anlagen starke Methanertragsdifferenzen verursachen können. Bei einer Flüssigkeitsverweilzeit von ca. 10 Tagen, die in landwirtschaftlichen Biogasanlagen als grober Richtwert gilt, ist die sogenannte kritische Verweilzeit erreicht: Die Mikroorganismen werden ausgespült und der Bioprozess bricht zusammen.

Für Biogasanlagen, die mit höher konzentrierten Substraten, z. B. Energiepflanzensilagen, betrieben werden, ist in der Regel nicht die Verweilzeit der ertragsbestimmende Faktor, sondern die oTS-Raubelastung. Dass auch zwischen der Raumbelastung der Biogasanlagen und den erzielten Methanerträgen ein deutlich erkennbarer Zusammenhang besteht, zeigt Abbildung 4.

Je näher man der kritischen Verweilzeit kommt und je höher die oTS-Raubelastung wird, desto instabiler wird der Bioprozess: hohe Konzentrationen organischer Säuren (vor allem Essig- und Propionsäure) und Schaumbildung können Anzeichen einer "gestressten" mikrobiellen Population sein. So fiel auch im Rahmen der Betreiberbefragung auf, dass vorwiegend diejenigen Betreiber Schaumprobleme gemeldet haben, deren Biogasanlagen mit Verweilzeiten von weniger als ca. 50 Tagen betrieben werden.

Die Relevanz des hier dargestellten Zusammenhangs wird durch die Befragung der altmärkischen Betreiber bestätigt: Vor allem zu niedrige Methanerträge und Schaumbildung wurden als Themen mit Optimierungsbedarf im Bereich der Bioprozesse gemeldet (Abbildung 5).

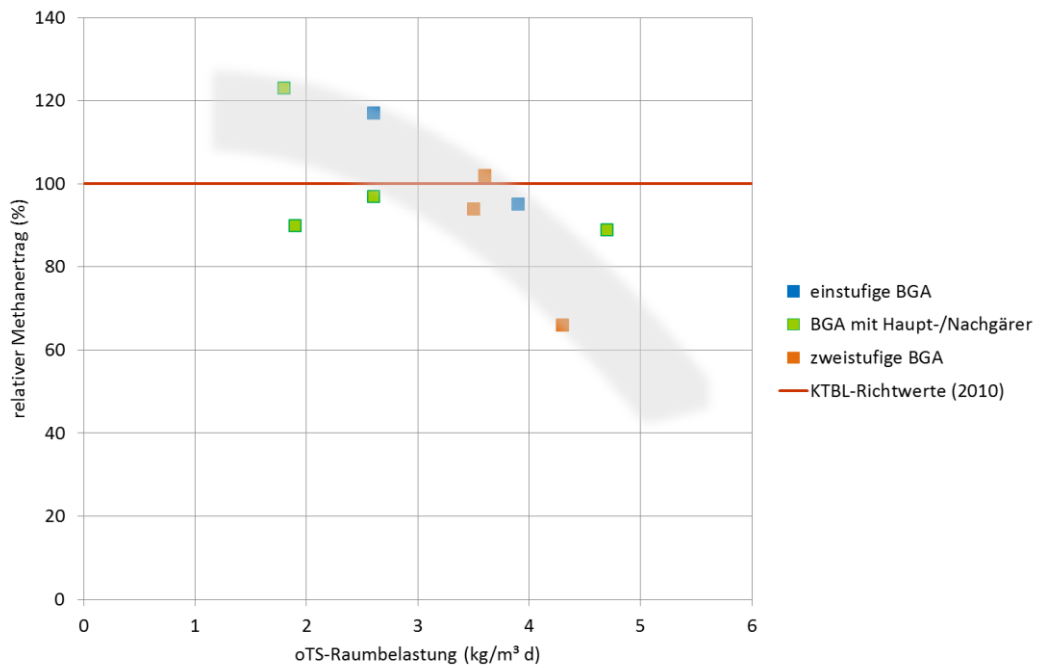


Abbildung 4: Einfluss der oTS-Raumbelastung altmärkischer Biogasanlagen auf den relativen Methanertrag (ermittelt durch Vergleich mit Richtwerten nach KTBL (2010))

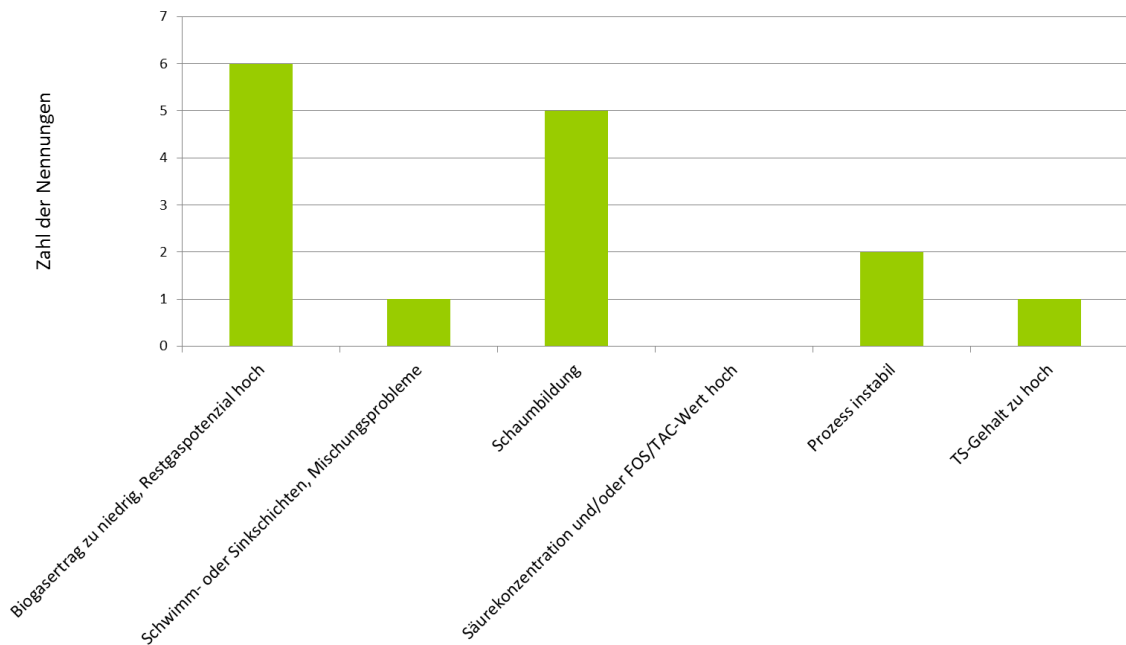


Abbildung 5: Optimierungsbedarf der Bioprozesse aus Sicht der altmärkischen Biogasanlagenbetreiber



### Exkurs: Methanerträge im Vergleich

Der Methanertrag ist eine wesentliche Kennzahl, die für die Planung sowie die Leistungsbewertung der Biogasanlagen äußerst wichtig ist. Um der Branche möglichst verlässliche Zahlen zur Verfügung zu stellen, werden durch das *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, Darmstadt)* die aus Labor- und Technikumsversuchen sowie aus Untersuchungen großtechnischer Biogasanlagen verfügbaren Biogas- und Methanerträge zu Richtwerten zusammengefasst (KTBL 2010). Diese Werte sind typische Durchschnittswerte, was aber bedeuten kann, dass Großanlagen Methanerträge erzielen, die die KTBL-Richtwerte übertreffen. Hinsichtlich des Energiegehaltes der Substrate lassen sich folgende Methanerträge unterscheiden:

1. **Maximaler theoretischer Methanertrag**, der mit der vollständigen Umsetzung der organischen Substratinhaltsstoffe verbunden wäre. Dieser Wert ist im Falle der landwirtschaftlichen Substrate nicht erreichbar, da alle Substrate nicht abbaubare (inerte) Verbindungen (z. B. Lignin) enthalten. Außerdem wird ein Anteil der Substrate zu mikrobieller Biomasse und infolgedessen nicht zu Methan umgesetzt.
2. **Maximal erzielbarer Methanertrag**, der im Falle sehr langer Verweilzeiten bzw. Versuchszeiten erreichbar wäre. Großvolumige Biogasanlagen können diesem Wert nahe kommen
3. **KTBL-Richtwert**, der durchschnittliche Praxiswerte repräsentiert
4. **Methanertrag der Großanlagen**, die typischerweise ca. 65 – 120 % des KTBL-Richtwerts betragen

Eine schematische Darstellung dieser Methanerträge zeigt die folgende Abbildung.

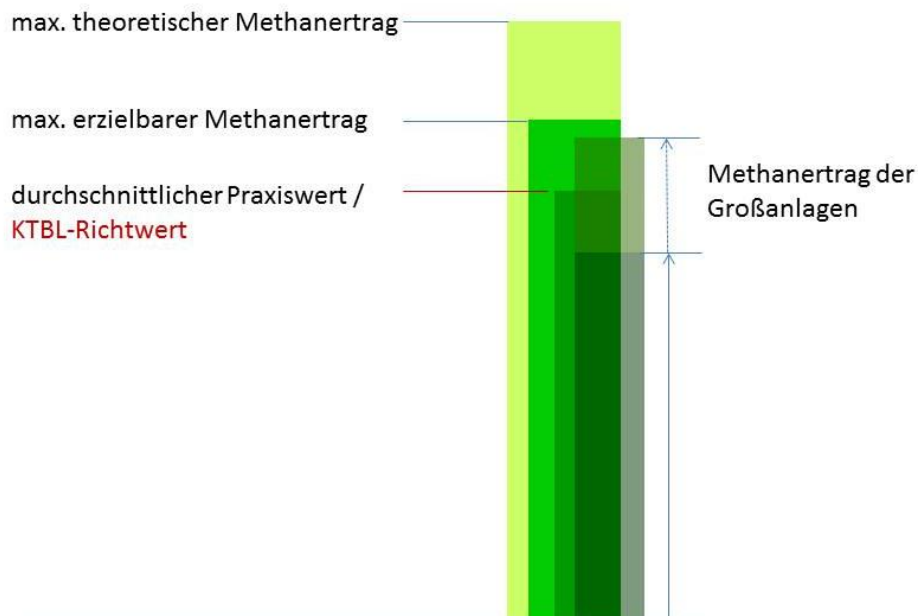


Abbildung 6: Methanerträge im Vergleich - die Grafik zeigt, dass Methanerträge der Großanlagen höher sein können als die durch das KTBL (2010) veröffentlichten Richtwerte

Abbildung: Cordes+Winterberg 2012

### Empfehlung: Fermentervolumen großzügig auslegen

Die eindeutig abzuleitende Schlussfolgerung aus den oben dargestellten Zusammenhängen richtet sich eher an Investoren bzw. Betreiber, die noch Einfluss nehmen können auf das Konzept ihrer Biogasanlage: Wird das Anlagenvolumen zu knapp bemessen, um Investitionskosten (in der Regel geringfügig) zu reduzieren, verliert der Betreiber im Betrieb wertvolle Anteile der möglichen Methanerträge aus seinen Substraten. Dieser Effekt sollte unbedingt in eine wirtschaftliche Gesamtplanung einfließen, die sich nicht nur auf die Investitionskosten konzentriert. Eine korrekte Auslegung des Anlagenvolumens lässt sich heute in der Regel auf der Basis umfassender Erfahrungswerte sicherstellen.

Allgemeingültige Orientierungswerte lassen sich allerdings nicht nennen, da z. B. für stark Gülle-betonte Biogasanlagen andere Auslegungsregeln gelten als für Anlagen, die ausschließlich mit Energiepflanzensilagen betrieben werden. Immerhin kann man sich generell an der mittlerweile bekannten Faustformel orientieren, eine oTS-Raubelastung von  $3 \text{ kg/m}^3 \text{ d}$  möglichst nicht zu überschreiten. Die hier dargestellte Auswertung zeigt außerdem, dass bei Verweilzeiten von weniger als 40 Tagen mit hohen Methanerträgen in der Regel nicht gerechnet werden kann (Kapitel 4.3).

Verbesserungen bestehender Anlagen können durch das Nachrüsten eines zusätzlichen Behälters erreicht werden. Ob dieser Behälter als parallel oder seriell betriebener Fermenter integriert werden sollte (Abbildung 8), muss im konkreten Einzelfall entschieden werden. Zu beachten ist allerdings, dass bei serieller Anordnung der oft hoch belastete erste Fermenter nicht entlastet wird und weiterhin, was die Stabilität des Bioprozesses betrifft, das "Nadelöhr" der Gesamtanlage bleibt. Beide Varianten wurden mittlerweile von einzelnen altmärkischen Betreibern realisiert.

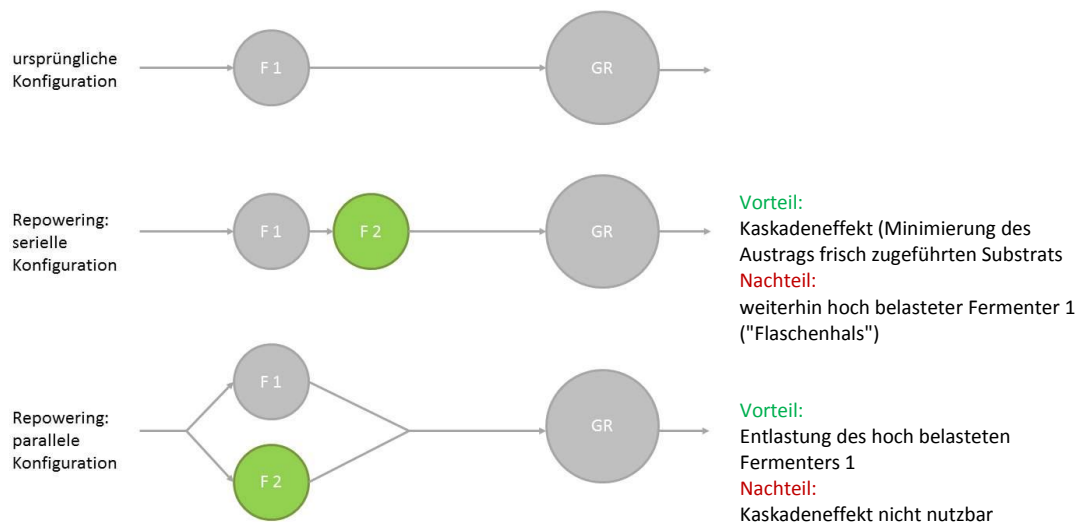


Abbildung 7: Repowering einer einstufigen, hoch belasteten Biogasanlage (grau; F 1: bestehender Fermenter, GR: Gärückstandslager) mit niedrigem Methanertrag durch Nachrüstung eines Fermenters (grün, F 2)

Abb.: Cordes+Winterberg 2012

## 4.4 Sonstige Maßnahmen zur Erhöhung des Methanertrags

**Silierung.** Eine fachgerechte Silierung der Energiepflanzen ist eine wesentliche Voraussetzung der wirtschaftlichen und effizienten Energiepflanzenvergärung. Das Thema ist komplex, da verschiedene Faktoren Einfluss auf die Silagequalität haben: Erntezeitpunkt, Häcksellänge, Silierdauer, Silierungsmittel und die Materialbehandlung (Einlagerung, Abdeckung). Zur Silierung von Energiepflanzen, die als Maisalternativen und –ergänzungen genutzt werden können, besteht noch erheblicher Forschungsbedarf. Es ist daher zu empfehlen, neben den bereits vorliegenden Untersuchungen (ATB 2009) auch laufende Forschungsaktivitäten zu beobachten.

Insgesamt ist allerdings festzuhalten, dass, eine fachgerechte Silierung vorausgesetzt, nach den bisher vorliegenden Ergebnissen die o. g. Einflussfaktoren die Umsatzraten, Methanerträge und die Wirtschaftlichkeit der Silagevergärung eher in einem geringeren Umfang beeinflussen.

**Hydrolyse- und Versäuerungsstufe.** Hydrolyse- und Versäuerungsstufen werden von zahlreichen Herstellern als Maßnahme der Effizienzsteigerung von Biogasanlagen angeboten. Durch die verfahrenstechnische Trennung der Hydrolyse und Versäuerung von der Aceto- und Methanogenese wird der Prozess der Biogaserzeugung zweistufig. Zweistufige Biogasprozesse sind bereits seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts bekannt und wurden durch zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten beschrieben und propagiert. Ihnen werden vor allem folgende Vorteile zugeschrieben:

- Erhöhte Umsatzraten und Substrat-Abbaugrade durch die Einstellung von Kultivierungsbedingungen in der Hydrolyse- und Versäuerungsstufe, die den physiologischen Optima der hydrolytischen und säurebildenden Bakterien entsprechen
- Hydraulische Pufferung von Schwankungen der Substratdosierungsrate durch den Hydrolyse- und Versäuerungsreaktor
- Erhöhung des Abbaugrades durch Kaskadenschaltung von Hydrolyse-/ Versäuerungsreaktor und Methanreaktor
- Verbesserung der technischen Prozessführung durch intensive Vermischung von Fest- und Flüssigphase

Diesen Vorteilen stehen folgende Aufwendungen und Nachteile der Hydrolyse- und Versäuerungsstufen gegenüber:

- erhöhte Investitions- und Betriebskosten
- klimawirksame Emissionen (Methan) und Energieverluste (Methan, Wasserstoff) im Falle offener Hydrolyse- und Versäuerungsstufen (s. Kapitel 4.2).
- technische Anfälligkeit, da die Einmischung fester Substrate (z. B. Silagen) in eine Flüssigkeit bei kurzen hydraulischen Verweilzeiten und nur teilweisem mikrobiologischem Abbau sehr anspruchsvoll ist. Zudem ist die Verwertung des Biogases gasdichter Hydrolyse- und Versäuerungsstufen aus technischen Gründen nicht trivial.

Die Effekte des Einsatzes von Hydrolyse- und Versäuerungsstufen sind umstritten (Preißler 2008, Effenberger 2010, LfL 2010).

**Aufschlussverfahren.** Der mikrobielle Aufschluss nicht wasserlöslicher Substratbestandteile kann der geschwindigkeitsbestimmende Schritt der Substratumsetzung in Biogasreaktoren sein. Dies kann z. B. für die mikrobielle Umsetzung von Pflanzenfasern gelten. Das Ziel des Aufschlusses ist die Vergrößerung der spezifischen Oberfläche der schlecht abbaubaren, ungelösten Substratbestandteile und die damit verbundene Erhöhung der Umsatzraten der hydrolytischen Enzyme der im Fermenter vorhandenen Mikroorganismen.

Eine große Vielfalt unterschiedlichster Aufschlussverfahren wird am Markt angeboten. Das Spektrum umfasst u. a.

- mechanische Verfahren
- Hochdruckverfahren
- Ultraschallverfahren und
- enzymatische Verfahren

Untersuchungen unabhängiger Einrichtungen zum Einfluss dieser Verfahren auf den Methanertrag aus verschiedenen Energiepflanzensilagen haben mit einer Ausnahme keine signifikanten Effekte zeigen können (SLL 2008, LfULG 2011, LfL 2010). Zwar wird in der Regel durch den Aufschluss die Rühr- und Pumpfähigkeit des Substrates verbessert. Doch muss im Einzelfall geprüft werden, ob der verminderte Energieaufwand den erhöhten Investitions- und Betriebskostenaufwand der Aufschlussaggregate bzw. die Kosten der Additive ausgleichen kann.

Lediglich der sehr intensive mechanische Aufschluss durch Einsatz eines Extruders erhöht die Methanerträge signifikant (SLL 2008). Mit steigendem Zerkleinerungsgrad steigen aber auch der Energiebedarf und der Wartungs- und Reparaturbedarf der eingesetzten Aggregate. Die ökonomischen Vorteile des Einsatzes von Aufschlussaggregaten sind daher sorgfältig zu prüfen.

Allgemein gilt, dass zumindest in großvolumigen Anlagen mit hohem Methanertrag ein vorgeschalteter Substrataufschluss aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll ist.

**Thermophile Kulturen.** Aus thermodynamischen Gründen steigen mikrobielle Umsatzraten mit erhöhter Fermentationstemperatur an. Allerdings haben sich Mikroorganismen im Laufe der Evolution an bestimmte Temperaturen angepasst, bei denen sie optimal arbeiten können. Im Bereich der landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden vorwiegend meso- oder thermophile Kulturen mit Optimaltemperaturen von ca. 35-42 bzw. ca. 55°C genutzt. Dass die Umsatzraten und damit Abbaugrade thermophiler Kulturen diejenigen mesophiler Kulturen übertreffen können, ist z. B. für die Maismonofermentation gezeigt worden (Vindis 2009, LfL 2010, Liebeneiner 2010). Damit lässt sich unter Umständen der Methanertrag einer Biogasanlage bei vorgegebener Substratzufuhr durch Betriebsumstellung von mesophilen auf thermophile Kulturen erhöhen.

Allerdings wird die Diversität der aktiven Population, vor allem der methanogenen Mikroorganismen, durch eine solche Maßnahme deutlich eingeengt (LfL 2010). Zudem wirken – ebenfalls aus thermodynamischen Gründen – auch bestimmte toxische Inhaltsstoffe der Fermentationsflüssigkeit verstärkt im Vergleich zu Prozessen mit niedrigeren Temperaturen. Beides bedingt eine erhöhte Empfindlichkeit der thermophilen Population gegenüber Prozessstörungen. So ist z. B. die Grassilage-Monovergärung durch thermophile Kulturen nicht zu empfehlen, da der Bioprozess – vermutlich durch Ammoniak - stark gehemmt werden kann (LfL 2010 b).

Praxiserfahrungen zur Umstellung der Fermentationstemperatur landwirtschaftlicher Biogasanlagen sind nach dem Kenntnisstand der Autoren bislang nicht publiziert worden (s. auch LfL 2010). Auch zur Vergärung der noch selten genutzten Energiepflanzen, wie z. B. der Hirsen, bei unterschiedlichen Temperaturen liegen noch keine Ergebnisse vor. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf.

Eine Übersicht der in der Branche diskutierten Maßnahmen zur Erhöhung des Methanertrags in Biogasanlagen zeigt die folgende Tabelle.

**Tabelle 3: Übersicht von Maßnahmen zur Steigerung der Methanausbaute aus feststoffreichen, langsam abbaubaren Substraten im Vergleich zur Volumenvergrößerung der Biogasanlage bzw. zur gasdichten Abdeckung des Gärrestlagers**

Maßnahme	Investitionskosten	Betriebskosten	Erfolgsaussichten
Erhöhtes Fermentervolumen	hoch	gering	hoch
Hydrolyse- /Versäuerungsstufe	hoch	mittel	umstritten
enzymatischer Substrataufschluss	keine	hoch	umstritten
mechanischer Substrataufschluss	hoch	hoch	substrat- und technologie-abhängig
Thermophile Kultur	keine	betriebsabhängig*	substratabhängig

\* je nach extern genutztem Wärmeanteil bzw. Wärmebedarf

### **Empfehlung: Maßnahmen zur Methanertragssteigerung kritisch prüfen**

Maßnahmen zur Methanertragssteigerung können hohe Investitions- und/oder Betriebskosten verursachen. Diesen Kosten stehen jedoch häufig nicht die erhofften Vorteile gegenüber. Es ist daher zu empfehlen, die geplanten Maßnahmen sehr kritisch zu prüfen oder durch unabhängige Berater oder Institutionen prüfen zu lassen.

## **4.5 Methanverluste durch Überdruck**

Das Entweichen von Biogas über die Überdruckventile der Fermenter, das sog. "Blubbern", ist weit verbreitet. Vor allem plötzliche Sonneneinstrahlung bei bewölktem Himmel und die damit verbundene Erwärmung des Biogases im Gasspeicher kann dazu führen.

Sicherheitstechnische Vorschriften haben bisher verhindert, dass das durch diesen Effekt verlorene Biogasvolumen bestimmt wird. Untersuchungen zur Häufigkeit der Aktivierung der Überdruckventile haben gezeigt, dass offenbar erhebliche Anteile des erzeugten Biogases verloren gehen können (LfL 2010). Dies ist wirtschaftlich nachteilig und schädigt das Klima.

Da nach Aussage der Betreiber nicht alle Anlagen von dem beschriebenen Gasverlust über die Überdrucksicherung betroffen sind, ist er offenbar eine Folge einer nicht optimal ausgelegten Technik. Hier sind Planer und Hersteller gefordert. Aber auch ein weitgehend gefüllter Gasspeicher kann den beschriebenen Effekt verursachen.

### **Empfehlung: Gasspeicher mit mittlerem Füllungsgrad betreiben**

Sofern, wie bei einigen älteren Biogasanlagen, Gasspeichermembran und Wetterschutzfolie nicht fest mit einander verbunden sind, lässt sich der Verlust von Methan über die Überdruckventile in der Regel verhindern, indem der Gasspeicher mit einem mittleren Füllungsgrad betrieben wird. So kann der Speicher Druckschwankungen durch Sonneneinstrahlung und/oder Substrateffekte ausgleichen. Konstruktionsbedingte Mängel müssen durch Hersteller und Planer ausgeräumt werden.

## 4.6 Methanverluste durch offene Gärrestlager

Das mikrobiologisch nutzbare, in den Fermentern nicht abgebaute organische Material gelangt in das Gärrestlager und wird dort – wenn auch unter ungünstigen Bedingungen (keine homogene Durchmischung des Lagers, keine Beheizung) - weiter abgebaut.

Das Restgaspotenzial wird vor allem – siehe Kapitel 4.3 - von der Verweilzeit der Substrate in der Biogasanlage bestimmt. Die Werte liegen typischerweise in einem Bereich von 1 bis 20 % (im Mittel bei 10 % in einstufigen und bei 5 % in mehrstufigen Anlagen) des Methanpotenzials der Substrate (vTI 2009).

Das entstehende Biogas ist verloren, wenn das Gärrestlager nicht gasdicht abgeschlossen ist. Zudem gelangt Methan als klimaschädliches Gas in die Atmosphäre und beeinträchtigt die Ökobilanz der Biogasanlage. Dieser Punkt ist relevant: 63 % der in der vorliegenden Untersuchung erfassten altmärkischen Gärrestlager sind offen, und nur 15 % sind gasdicht geschlossen.

### **Empfehlung: Gärrestlager gasdicht abdecken**

Unabhängig von den Regelungen des EEG zur gasdichten Abdeckung von Gärrestlagern kann der gasdichte Verschluss von Bestandsanlagen mit bislang offenen Gärrestlagern wirtschaftlich interessant sein. Zwei Möglichkeiten eines solchen "Repowering" sind denkbar: Refinanzierung der Kosten der gasdichten Abdeckung durch

1. dauerhaft eingesparte Substratkosten
2. Ersatz des bisherigen BHKW durch ein BHKW mit höherer elektrischer Leistung und höherem elektrischem Wirkungsgrad und damit erhöhte Stromerlöse

Beide Varianten können selbstverständlich kombiniert werden. Variante 2 ist vor allem für diejenigen Betreiber interessant, die ohnehin den altersbedingten Austausch des BHKW vorsehen.

## 5 Wärmenutzung: Schwachpunkt vieler Biogasanlagen

Die Auswertung der durchgeführten Betreiberbefragung in der Altmark zeigt, dass hinsichtlich der effizienten Wärmenutzung noch Handlungsbedarf besteht (vgl. Abbildung 1). So nutzt ein Großteil der Biogasanlagen die Abwärme neben der Beheizung der Fermenter (Eigenbedarf der Biogasanlage) lediglich zur Beheizung umliegender Sozialgebäude und zur Warmwasserbereitung (Abbildung 8). Darüberhinausgehende Wärmenutzungen werden nur vereinzelt umgesetzt. Sechs von 18 Betreibern, die im Zuge der Befragung Angaben zum Wärmekonzept gemacht haben, speisen ihre verfügbare Wärme in ein Nahwärmenetz ein; zwei davon nutzen zudem anteilig Wärme für Trocknungsprozesse. Das Gros der Betreiber hat bereits verschiedene Wärmekonzepte für ihren Standort näher geprüft, jedoch aufgrund eines drohenden unwirtschaftlichen Betriebes nicht umgesetzt.

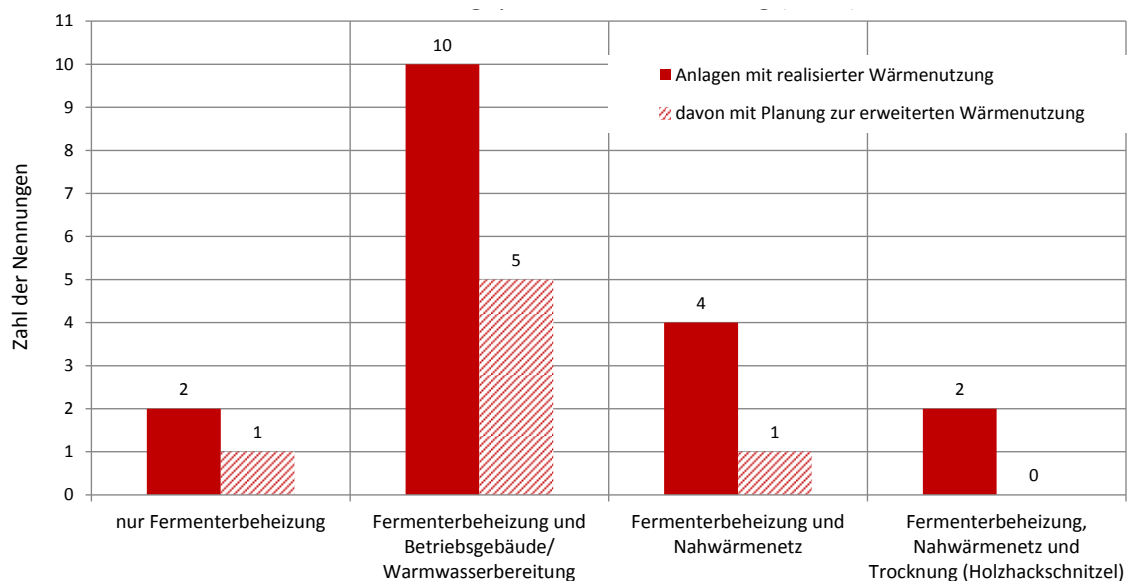


Abbildung 8: Realisierte und geplante Wärmenutzungskonzepte in der Altmark (Ergebnisse der Betreiberbefragung)

Innerhalb des Projektes wurden 6 Biogasanlagen der Region Altmark ausgewählt, die bzgl. des Optimierungsbedarfes der Anlage näher untersucht wurden. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der ausgewählten Biogasanlagen wurden unter Berücksichtigung der Vor-Ort-Situation und der Betreiberinteressen folgende Konzepte zur Wärmeverwertung näher betrachtet:

- Nutzwärmeverwendung zur Getreidetrocknung
- Nutzwärmeverwendung zur Milchkühlung

Ausgehend von der gegenwärtigen Wärmenutzung der Biogasanlagen wurde die Wärmemenge ermittelt, die für weitere Wärmenutzungskonzepte zur Verfügung stehen würde. Abbildung 9 verdeutlicht genutzte und ungenutzte Wärmemengen im Jahresverlauf am Beispiel einer der altmärkischen Biogasanlagen.

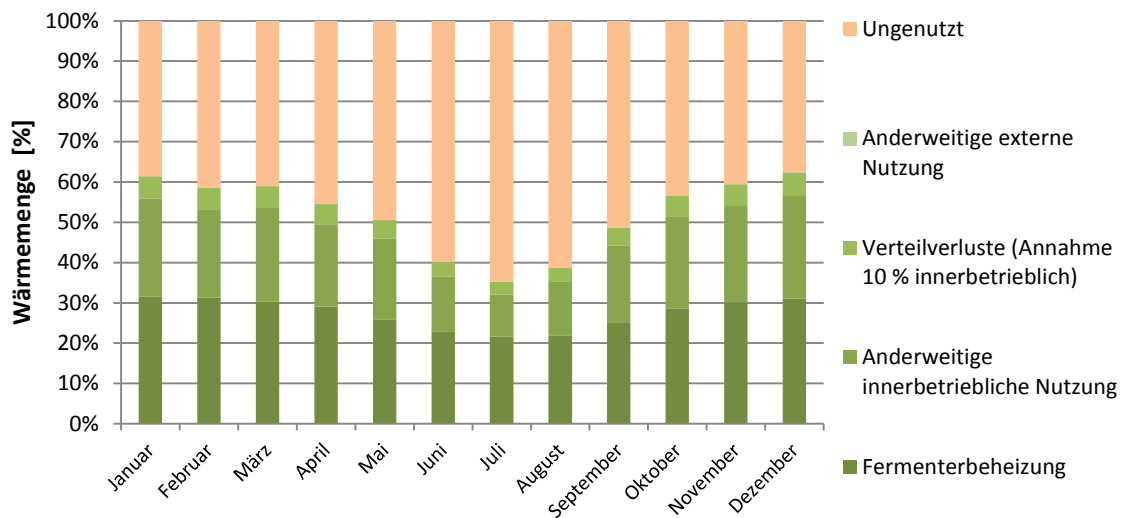


Abbildung 9: Wärmenutzung und verfügbare Wärmemenge im Jahresverlauf einer altmärkischen Biogasanlage

Für die betrachteten Wärmenutzungsoptionen Getreidetrocknung und Milchkühlung wurden Investitionsbedarfe ermittelt und möglichen Erlösen (KWK-Bonus, Wärmeverkauf, sonstige Einsparungen) gegenübergestellt.

Hinsichtlich der Höhe der Erlöse aus dem KWK-Bonus ist die EEG-Vergütung der jeweiligen Biogasanlage maßgebend. Die betrachteten Anlagenkonzepte der Altmark erhalten überwiegend den KWK-Bonus nach EEG 2004, bei denen keine weiteren Vorgaben an die Wärmenutzung gestellt werden. Zwei von sechs Anlagen erhalten den KWK-Bonus nach EEG 2009. Für die Altanlagen mit der EEG-Vergütung nach EEG 2004 (KWK-Bonus 2004) wäre ein erhöhter KWK-Bonus (3 ct/kWh<sub>el</sub>) nach dem EEG 2009 denkbar. Hierbei sind allerdings weitere rechtliche Prüfungen der Übergangsvorschriften erforderlich.

## 5.1 Getreidetrocknung

Lagerfähiges Getreide erfordert eine Trocknung bis ca. 14,5 % Feuchte bzw. 85,5 % TS. Die Betreiber geben an, das Getreide derzeit mit Mindereinnahmen von etwa 2 €/dt feucht (ohne Trocknung) zu verkaufen, da keine leistungsfähige Lohn-trocknung vor Ort zur Verfügung steht. Bei den betrachteten Anlagenkonzepten fallen vergleichsweise geringe Mengen an Feuchtgut für die Trocknung an. Eine Getreidetrocknung wird nach Angaben der Betreiber für 500 -1.500 t/a Getreide für etwa 2 bis 3 Monate (Getreide im Juli/August, Mais Korn im Oktober) benötigt. Für die Trocknungsprozesse gibt es verschiedene Trocknungssysteme unterschiedlicher Effizienz in Abhängigkeit von Substrat und Technik.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurde der Einsatz eines Bandtrockners unterstellt. Die Betrachtungen zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit für Getreidetrocknungsprozesse bei der gegenwärtigen Auslastung der Trocknungsanlage (Umfang Feuchtgut) nicht gegeben ist. Eine Wirtschaftlichkeit der Trocknungsprozesse kann nur bei umfassender Auslastung der Trocknungsanlagen erreicht werden. Denkbar wäre daher, die Auslastung der Trocknungsanlagen durch den Einsatz weiterer Güter (z. B. Getreide, Holzhackschnitzel) benachbarter Landwirte oder als Lohn-trocknung zu realisieren. In diesem Zusammenhang könnte auch der Bedarf nach einer ganzjährigen Trocknung von Körnermais geprüft werden. Die ganzjährige Trocknung von



Körnermais erfordert zur Konservierung den Zusatz von Propionsäure und eine hohe Korrosionsfestigkeit der technischen Anlagen.

Weitere Prüfungen der örtlichen Rahmenbedingungen werden empfohlen, um die Nachfrage (Art und Umfang) getrockneter Güter im Umfeld der Biogasanlage abzuklären. Denkbar wäre auch den Einsatz einfacherer, kostengünstigerer Trocknungssysteme (u.a. Flachrosttrocknung, Umlufttrocknung), die mit Blick auf die Effizienz der Wärmenutzung jedoch ungünstiger bewertet werden.

## 5.2 Exkurs: Gärresttrocknung

Wärmenutzungskonzepte zur Gärresttrocknung sind insbesondere für große Anlagen sinnvoll, um logistische Probleme zu lösen. Der Einsatz von Gärresttrocknungen ist vor allem in Veredelungsregionen interessant, wo Nährstoffüberschüsse einen Abtransport der Gärreste in nährstoffarme Regionen erforderlich machen. Die Betrachtungen zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit davon abhängig ist, welche weiteren Einsparungen möglich sind. Für Biogasanlagen in Veredelungsregionen erweisen sich die Einsparungen von Lagerkapazitäten und Transportkosten für die Gärreste als vorteilhaft. In Regionen mit hohen Kosten für das Einstreumaterial (z.B. Stroh im Allgäu) könnte auch der Ersatz von Einstreu anstelle der getrockneten Gärreste zu Kosteneinsparungen führen. Nach Rückmeldung eines Anlagenbetreibers in der Altmark kommt die Nutzung der getrockneten Gärreste als Einstreu jedoch u.a. aufgrund hygienischer Bedenken nicht in Betracht. Zudem handelt es sich bei den Anlagen in der Altmark um arron-dierte Betriebe, so dass aufgrund der geringen Transportentfernungen der Gärreste keine großen logistischen Vorteile zu erwarten sind, weshalb Gärresttrocknungen für die Region der Altmark nicht von großer Bedeutung sein dürfte.

## 5.3 Abwärmennutzung zur Milchkühlung

Die Milchkühlung erfolgt bei den betrachteten Anlagen gegenwärtig mit Kompressionskältemaschinen (KKM) und Eiswasserbereitern. Um die BHKW-Abwärme zur Produktkühlung nutzen zu können, wird eine Absorptionskältemaschine (AKM) notwendig. Im Fall der Milchkühlung muss die Milch auf Temperaturen von rund 5 °C gekühlt werden, so dass nur eine Absorptionskältemaschine auf Basis des Arbeitsstoffpaares Ammoniak/Wasser in Frage kommt. Diese werden je nach Anbieter ab 30 - 50 kW Kälteleistung angeboten. Im Vergleich zu den KKM, lässt der Einsatz einer AKM in aller Regel geringere Betriebskosten bezüglich des Strombedarfes und des Wartungsaufwandes erwarten. Dem gegenüber stehen allerdings erhöhte finanzielle Aufwendungen für die Installation des Systems.



Abbildung 10: Ammoniak-Wasser-Absorptionskälteanlage (Quelle: Fa. AGO AG Energie + Anlagen)

Für die Nutzwärmeverwendung zur Milchkühlung ist weder die Positivliste noch die Negativliste für Wärmenutzungen einschlägig. Daher ist der Ersatz fossiler Energieträger in einem vergleichbaren Wärmeäquivalent und Wärmekosten 100 €/kW über Umweltgutachter nachzuweisen (vgl. EEG 2009, Auffangtatbestand).

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigen, dass die jährlichen Kapital- und Betriebskosten der AKM durch die Gutschriften aus der Vergütung des KWK-Bonus und des vermiedenen Strombezugs im Vergleich zur KKM nicht aufgewogen werden können. Aufgrund der geringen erforderlichen Kühlleistungen von 26 bis 37 kW, wäre eine Umstellung der bisherigen Milchkühlung per KKM auf einen AKM-Betrieb bei den betrachteten landwirtschaftlichen Anlagen nicht wirtschaftlich. Prinzipiell stellt der Einsatz einer Absorptionskälteanlage zur Milchkühlung eine sinnvolle Wärmenutzung dar, die jedoch erst ab größeren Kälteleistungen wirtschaftlich betrieben werden kann. Nach Herstellerangaben ist ein wirtschaftlicher Betrieb der angebotenen Absorptionskälteanlage ab Kälteleistungen von 100-150 kW realisierbar (Rammig 2012).

Ein zusätzlicher, nicht zu vernachlässigender Fakt ist, dass entsprechende Backup-Systeme zur Wärmebereitstellung bei Ausfall des BHKW vorzuhalten wären, die in den angestellten Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit keine Berücksichtigung fanden. Derzeit können Unterbrechungen in der Stromversorgung teils durch vorhandene Notstromaggregate überbrückt werden, sodass die bestehenden KKM einen relativ sicheren Betrieb ermöglichen. Zudem ist im Einzelfall (anlagenspezifisch) zu prüfen, inwiefern steuerungstechnische Anpassungen durch die Einbindung der AKM vorzunehmen sind.

#### 5.4 Resümee zur Wärmenutzung

Bei dem Großteil der Biogasanlagen in der Altmark wird die Wärme nur unzureichend genutzt. Viele Betreiber sehen insbesondere mit Blick auf das Wärmenutzungskonzept Optimierungsbedarf und haben bereits verschiedene weitere Wärmenutzungsoptionen für ihren Standort intensiv geprüft.

Allerdings erweist sich die Umsetzung von Wärmenutzungskonzepten insbesondere in ländlichen Räumen oft als schwierig. Die räumliche Verfügbarkeit der Substrate landwirtschaftlicher Biogasanlagen und die Nähe möglicher Wärmeabnehmer sind im ländlichen Raum schwer miteinander zu vereinbaren (Standortproblematik). Dabei sind weitere, vielschichtige Faktoren (u.a. fehlende Akzeptanz der Bevölkerung, aufwändige Planung und Genehmigung)

für die Umsetzung von Wärmenutzungskonzepten relevant, die neben der wirtschaftlichen Bewertung der Anlagenkonzepte eine Rolle spielen. Hier zeigen die Erfahrungen, dass auch in der Altmark die Wärmenutzung stärker als bisher als Standortkriterium hätte agieren müssen.

Für die ausgewählten Biogasanlagen können folgende Aspekte zusammengefasst werden:

- Die Getreidetrocknung ist aufgrund der geringen Feuchtgutmengen und der damit verbundenen geringen Auslastung der Trocknungsanlagen nicht wirtschaftlich. Die Möglichkeit, weitere alternative Trocknungsgüter einzusetzen (z.B. als Lohn Trocknung), bedarf weiterer Vor-Ort-Prüfungen.
- Die Gärresttrocknung ist für die Anlagen in der Altmark in der Regel nicht von Bedeutung, da die Gärreste im Umfeld der Biogasanlage auch ohne Aufbereitung ausgebracht werden können.
- Ein wirtschaftlicher Betrieb von AKM zur Milchkühlung im kleinen Leistungsbereich ist derzeit nicht darstellbar, da die relativ hohen Investitionskosten durch KWK-Bonus und Einsparungen im Betrieb der Anlage nicht kompensiert werden können.

Hinsichtlich einer möglichst hohen Wärmenutzung könnten für die Region Altmark auch Konzepte interessant sein, bei denen das Biogas zum Ort der Energienachfrage transportiert wird. Hierbei könnte der Zusammenschluss mehrerer Biogasanlagen zur zentralen Aufbereitung von Biogas zu Biomethan mit anschließender Gaseinspeisung in das Erdgasnetz oder die Verwendung von Mikrogasnetzen zur zentralen Verstromung des Biogases in Frage kommen. Diese Prüfung war jedoch nicht Gegenstand der Studie.

## 6 Fazit

Der Betrieb von Biogasanlagen ist in der Regel ein etabliertes und wirtschaftlich stabiles Geschäftsfeld der altmärkischen Landwirtschaftsbetriebe. Dennoch besteht, auch nach der Selbsteinschätzung der weitaus meisten Betreiber, Optimierungsbedarf in allen Bereichen der Biogaserzeugungskette. Die vorliegende Broschüre stellt Optimierungspotenziale dar und soll Betreiber ermutigen, diese zu nutzen. Vor allem können nachstehende Punkte als Optimierungsmöglichkeiten herausgestellt werden:

1. Anbau und Nutzung schnellvergärbare Maisalternativen wie z.B. Rüben sind möglich, allerdings in der Region Altmark aufgrund fehlender Ernte- und Aufbereitungstechnik nicht relevant
2. Silagen der zurzeit verfügbaren Hirsesorten sind als Alternative zur Maissilage nur dann zu empfehlen, wenn die Anlagenauslegung hinreichend lange Verweilzeiten zulässt.
3. Hydrolyse- und Versäuerungsstufen können durch die Emission energiereicher Gase (Wasserstoff, Methan) erhebliche Energieverluste verursachen. Sie sollten daher gasdicht ausgeführt werden.
4. Mit steigender Verweilzeit und verringerter oTS-Raumbelastung steigt in der Regel der Methanertrag der Biogasanlagen an. Biogasanlagen sollten daher mit eher langen Verweilzeiten und geringen oTS-Raumbelastungen ausgelegt werden. Auch nachträgliche Volumenerweiterungen können rentabel sein.
5. Methanverluste durch Emissionen der Fermenter-Überdruckventile können reduziert werden, indem die Gasspeicher mit einem mittleren Gasfüllstand betrieben werden.
6. Gasdichte Gärrestlager erhöhen den Methanertrag, vermindern Klimagasemissionen und können, vor allem bei Biogasanlagen mit kurzer Verweilzeit und/oder hoher oTS-Raumbelastung auch wirtschaftlich sein.
7. Die Wärmenutzung muss während der Planungsphase berücksichtigt werden, da nur selten hohe Wärmenutzungsgrade durch nachträgliche Suche nach Wärmesenken erzielt werden können.

Oft sind erhebliche Verbesserungen des Betriebsergebnisses mit überschaubarem finanziellem Aufwand möglich. Ob dies für den konkreten Einzelfall gilt, muss projektspezifisch geprüft werden.

## 7 Informationsquellen

- ATB 2009 Heiermann M, Idler C, Herrmann C, Scholz V: Ermittlung des Einflusses der Pflanzenart und der Silierung auf Substratqualität und Biogasausbeute im Labor und in der Praxis. Abschlussbericht des Leibnitz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB) an das BMELV (Projekträger: FNR), Potsdam 2009
- Boese 2010 Boese L: Getreide, Mais und Hirse im Vergleich - Abwechslung in der Biogasfruchtfolge. Neue Landwirtschaft 7/2010, 52-54
- Ebel 2010 Ebel G, Barthelmes G, Herrmann C, Heiermann M, Idler C: Biogaspflanzen auf leichten Standorten - Auf den Erntetermin kommt es an. Neue Landwirtschaft 7/2010, 55-57
- Effenberger 2010 Effenberger M, Kissel R, Marin-Pérez C (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft), Beck J (f10 Forschungszentrum für erneuerbare Energien, Friedrich F (land- und forstwirtschaftliche Sozialversicherungsträger Franken und Oberbayern): Empfehlungen zu Verfahren der Hydrolyse in der Praxis. Bayern Biogas Forum IV, 5/2010. Freising-Weihenstephan 2010
- FORUMUE 2011 Stinner, W., Rensberg, N. (2011): Perspektive der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen - Bewertung von Substratalternativen zu Silomais (Studie), Leipzig, [http://www.forumue.de/fileadmin/userupload/AG\\_Weitere\\_Temen/Biomasse/DBFZ\\_Maisalternativen.pdf](http://www.forumue.de/fileadmin/userupload/AG_Weitere_Temen/Biomasse/DBFZ_Maisalternativen.pdf)
- Hochschule Ingolstadt 2010 Handreichung zur Optimierung von Biogasanlagen. Hochschule Ingolstadt, Fachhochschule Münster, IFEU Heidelberg (Hrsg.), Ingolstadt 2010
- Jäkel 2011 Jäkel K, Zander D, Barthelmes G, Martin M, Knoblauch S, Wagner M, Fritz M, Hartmann A: Verbundvorhaben Sorghumhirsen. 2011; [www.fnr-server.de/cms35/.../06Jaekel\\_Kerstin\\_neu-freigegeben.pdf](http://www.fnr-server.de/cms35/.../06Jaekel_Kerstin_neu-freigegeben.pdf)  
Zugriff am 12.03.2012
- Kaiser 2007 Kaiser FL: Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren. Dissertation, Universität München, 2007
- KTBL 2009 Schwachstellen an Biogasanlagen verstehen und vermeiden. KTBL-Heft 84. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL; Hrsg.), Darmstadt 2009
- KTBL 2010 Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. KTBL-Heft 88; 2. Auflage, Darmstadt, 2010

LfL 2010	Lebuhn M, Andrade D, Bauer C, Gronauer A: Intensivierung des anaeroben Biomasseabbaus zur Methanproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen. Abschlussbericht der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft an die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Gülzow), Freising 2010
LfULG 2011	Brückner C, Sawatzki T: Effizienzsteigerung in Biogasanlagen. Schriftenreihe des Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Sachsen) 35/2011, Dresden
Liebeneiner 2010	Liebeneiner R: Leistungsfähigkeit der Trockenvergärung von nachwachsenden Rohstoffen unter thermophiler und mesophiler Prozessführung. Dissertation, TU Braunschweig 2010
Liebetrau 2011	Liebetrau J (Deutsches Biomasseforschungszentrum): Analysis of Greenhouse Gas Emissions from 10 Biogas Plants within the Agricultural Sector. Vortrag, ADSW&EC, Wien 28.08.-01.09.2011
Mahmood 2012	Mahmood A: Performance of Sorghum ( <i>Sorghum bicolor</i> L. Moench) as an Energy Crop for Biogas Production. Dissertation, Justus Liebig Universität Gießen, 2012
Preißler 2008	Preißler D (Universität Hohenheim): Bietet eine separate Hydrolyse zusätzliche Potentiale in NawaRo-Biogasanlagen? Vortrag, Fachtagung Biogas; Großrudstedt 05.06.2008
Rammig 2012	Persönliche Mitteilung Herr Dr. Rammig, Fa. AGO AG Energie + Anlagen, Telefonat am 26.3.2012
SLL 2008	Weiß D, Brückner C: Biomasseaufbereitung zur Vergärung. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 19/2008, Leipzig
Strauß 2011	Strauß C, Reus D, Vetter A, Kuhlmann F: Alternative Substrate – Ergänzungen zum Mais. Neue Landwirtschaft 11/2011, 94-100
UBA 2009	Postel J, Jung U, Fischer E, Scholwin F (Deutsches Biomasseforschungszentrum): Stand der Technik beim Bau und Betrieb von Biogasanlagen – Bestandsaufnahme 2008. UBA-Texte 38/2009, Dessau-Roßlau 2009
Vindis 2009	Vindis P, Mursec B, Janzekovic M, Cus F: The Impact of Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion on Biogas Production. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 36/2, Oktober 2009
vTI 2009	Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI): Biogas-Messprogramm II – 61 Biogasanlagen im Vergleich. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR, Hrsg.), Gülzow 2009

## Abkürzungsverzeichnis

AKM	Absorptionskältemaschine
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (Leipzig)
dt	Dezitonne
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz; in der aktuellen Fassung: Gesetz zur Neuregelung des Rechtsrahmens für die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (2012)
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Gülzow)
IGZ BIC Altmark	Innovations- und Gründerzentrum Business Innovation Center Altmark GmbH
KKM	Kompressionskältemaschine
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
$kW_{th}$	Kilowattstunde thermische Energie (Wärme)
$kW_{el}$	Kilowattstunde elektrische Energie (Strom)
n	Zahl der Nennungen (Auswertung der Fragebögen)
oTS	organische Trockensubstanz
TM	Trockenmasse (analog "Trockensubstanz")
V	Volumen