

Technische Anforderungen an Biogasanlagen für die flexible Stromerzeugung



www.biogas-forum-bayern.de/bif34

Biogas Forum Bayern, Verfasser:

**Norbert Grösch, Katharine Bär,
Georg Häring, Matthias Sonnleitner
Leonhard Wiedemann, Wilfried Zörner**
Technische Hochschule Ingolstadt

Volker Aschmann

OmniCert Umweltgutachter GmbH

Foren der ALB Bayern e.V.

ALB-Arbeitsblätter, ALB-Beratungsblätter, ALB-Infobriefe, ALB-Leitfäden und Fachinformationen werden in den Foren der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. erarbeitet.

Die Foren, denen Fachleute der jeweiligen Sachgebiete angehören, sind Expertenausschüsse zum Informationsaustausch und zur Wissensvermittlung in die landwirtschaftliche Praxis.

- ▶ Bau Forum Bayern (BaF),
Leitung: Jochen Simon, LfL-ILT
- ▶ Bewässerungsforum Bayern (BeF),
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Biogas Forum Bayern (BiF),
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Landtechnik Forum Bayern (LaF),
Leitung: Dr. Markus Demmel, LfL-ILT

Förderer



Bayerisches Staatministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft



Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Impressum

Herausgeber Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
 (ALB), Vöttinger Straße 36, 85354 Freising
Telefon: 08161 / 887-0078
Telefax: 08161 / 887-3957
E-Mail: info@alb-bayern.de
Internet: www.alb-bayern.de

2. Auflage Juni 2022
© ALB Alle Rechte vorbehalten
Titelfoto: V. Aschmann, OmniCert Umweltgutachter GmbH

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Einleitung	4
2. Gasspeicher	5
2.1 Gasspeichertechnologie	6
2.1.1 Einschalige Gasspeichersysteme	7
2.1.2 Zweischalige Gasspeichersysteme	8
2.1.3 Überblick	10
2.2 Gasspeichermanagement	11
2.3 Füllstandsüberwachung	13
2.3.1 Berührungslose Systeme (Ultraschall)	13
2.3.2 Seilzüge	14
2.3.3 Schlauchwaagen	14
3. Gasstrecke und BHKW	15
3.1 Kommunikationstechnik	15
3.2 BHKW-Taktbetrieb	16
3.3 BHKW-Teillastbetrieb	18
3.4 Gasstrecke und Gasaufbereitung	20
4. Wärmeversorgung	20
4.1 Prozesswärme	20
4.2 Externe Wärmeabnehmer	21
Zusammenfassung	21
Quellenangaben	22

1. Einleitung

Durch eine Flexibilisierung der Stromerzeugung kann eine Biogasanlage höhere Stromvergütungen generieren (Informationen zu Direktvermarktung, Teilnahme am Marktprämienmodell und Bedarfsorientierte Stromerzeugung unter <https://www.biogas-forum-bayern.de/Direktvermarktung.html>).

Hierfür muss der Strom dann erzeugt werden, wenn er an der Strombörse teuer verkauft werden kann. Um die Stromerzeugung einer Biogasanlage zu flexibilisieren, müssen zum einen höhere Verstromungskapazitäten installiert sein, als für den Grundlastbetrieb notwendig, zum anderen muss die Biogasanlage in der Lage sein, die Gasverwertung zu verschieben, d.h. die entsprechenden Gasmengen zu Zeiten mit hohem Stromverkaufspreis bereitzustellen.

Für die Vergütung von Strom aus Biogasanlagen (Neuanlagen) bietet das EEG 2021 in Abhängigkeit von der Anlagengröße verschiedene Optionen:

- ▶ die Festvergütung (1 - 100 kW_{el})
- ▶ die Marktprämie in der Direktvermarktung (ab 100 kW_{el} verpflichtend) (1 - 150 kW_{el})
- ▶ das Ausschreibungssystem (151 – 20.000 kW_{el})

Biomasseanlagen mit einer installierten Leistung bis zu 100 kW_{el} können ihren Strom freiwillig an der Strombörse vermarkten (Direktvermarktung) und erhalten so Anspruch auf die Marktprämie. Für Anlagen mit einer installierten Leistung zwischen 101 und 150 kW_{el} ist die Direktvermarktung verpflichtend. Die

Marktprämie errechnet sich aus dem anzulegenden Wert (12,8 ct/kWh_{el}) und dem Monatsmittelwert des Spotmarktpreises (§42, §23a). Das Ausschreibungssystem, für Anlagen mit einer installierten Leistung zwischen 151 und 20.000 kW_{el}, basiert auf dem gleichen Prinzip der Direktvermarktung und dem Erhalt der Marktprämie. Wesentlicher Unterschied ist, dass der anzulegende Wert nicht gesetzlich festgelegt, sondern wettbewerblich ermittelt wird. Dazu müssen Anlagenbetreiber von Biogasanlagen ab einer installierten Leistung von 150 kW_{el} an der Ausschreibung teilnehmen. Biogasanlagen mit einer installierten Leistung unter 150 kW_{el} dürfen nicht an den Ausschreibungen teilnehmen, es sei denn, es handelt sich um Bestandsanlagen (§22 Abs. 4).

Mit dem EEG 2021 wurden Qualitätskriterien für die Flexibilität eingeführt. Demnach müssen neu bezuschlagte Anlagen im regulären Ausschreibungssegment an mindestens 4.000 Viertelstunden im Jahr mindestens 85 % ihrer installierten Leistung abrufen.

Hinsichtlich eines Fahrplanes können sich Biogasanlagen bspw. an der Day-Ahead-Auktion des Spotmarkts an der EPEX Spot orientieren. Hier wird der Strom für jede Stunde des nächsten Tages gehandelt. Abb.1 stellt einen exemplarischen Verlauf der Stundenpreise der Day-Ahead-Auktion dar. Auch am Intraday Markt kann Strom für den nächsten Tag oder am Intraday Continuous Markt für die nächste Stunde in Viertelstundenscheiben gehandelt werden.

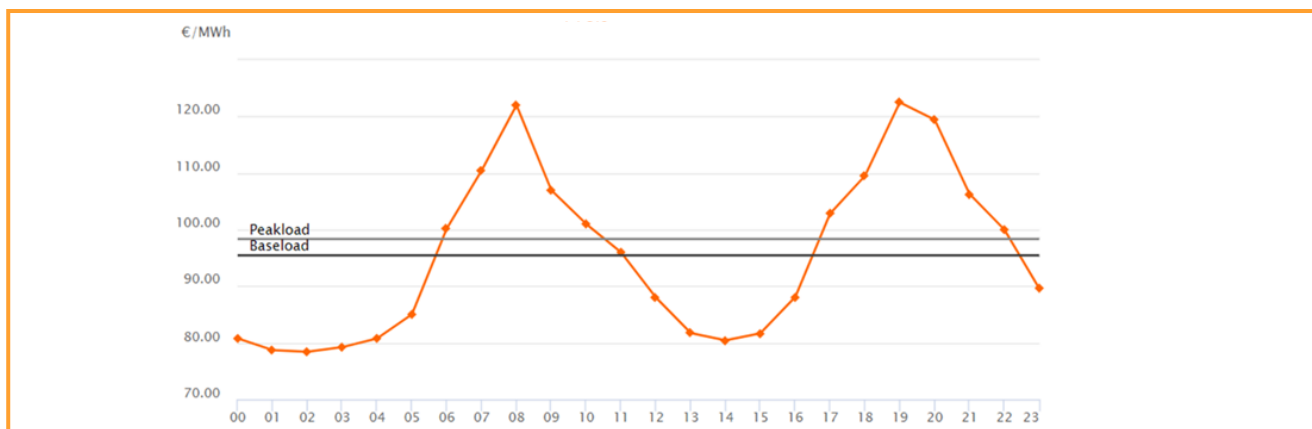


Abb. 1: Ergebnisse der Day-Ahead-Auktion der Strombörse EPEX Spot für den 24.08.2021 (EPEX SPOT, 2021)

Welche Zeiträume auf dem Strommarkt hochpreisig und welche Zeiträume niedrigpreisig sind, unterliegt einer gewissen Regelmäßigkeit. Da die Flexibilität einer Biogasanlage sehr anlagenspezifisch ist und die meisten Anlagen in ihrer Flexibilität limitiert sind, ergibt sich in der Regel ein anlagenspezifischer Fahrplan, der für die meisten Tage im Jahr die für die Biogasanlage maximal möglichen zusätzlichen Einnahmen verspricht.

Ein zeitlich definierter Fahrplan kann dabei über die anlageninterne Steuerung gefahren werden. Die Möglichkeit eines Zugriffs des Stromvermarkters auf die Anlagensteuerung ist für den flexiblen Anlagenbetrieb nicht zwingend notwendig.

Ein flexibler Anlagenbetrieb bedeutet letztlich eine Verlagerung der Stromerzeugung über einen bestimmten Zeitraum. Diese Art der Erzeugung und des Handels unterscheidet sich von der Regelenergie (Primär- / Sekundärregelenergie und Minutenreserve), welche ein separates Stromprodukt darstellt und an einem anderen Markt (www.regelleistung.net) gehandelt wird. Die Regelenergie stellt im Gegensatz zum flexiblen Anlagenbetrieb eine Systemdienstleistung dar, wobei hier lediglich fluktuierende Leistungsbedarfe ausgeglichen werden, um das Stromnetz kurzfristig zu stabilisieren (Frequenzhaltung).

2. Gasspeicher

Die Zwischenspeicherung von Biogas in den Gasspeichern der Anlage bietet die Möglichkeit, die Gaserzeugung über einen gewissen Zeitraum von der Gasverwertung zu entkoppeln. Für eine flexible Stromerzeugung können Gasspeichersysteme zum Einsatz kommen, wie sie auf Biogasanlagen Stand der Technik sind.

Im Grundlastbetrieb besteht die Aufgabe des Gasspeichers darin, Schwankungen in der Gasproduktion und -verwertung als Puffer auszugleichen. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, sind bei der Auswahl des Gasspeichers dessen Größe und die Genauigkeit der Füll-

Grundsätzlich sind viele Anlagen dafür geeignet, flexibel Strom zu produzieren. Durch eine Zwischenspeicherung des Biogases ist es möglich, die Gaserzeugung von der Stromerzeugung zu entkoppeln. So kann ohne einen Eingriff in das bisherige Fütterungsmanagement und damit in den Gärprozess die Gasmenge an den Bedarf der Stromerzeugung angepasst werden. Diese Fachinformation geht somit nicht auf die Thematik Power to Gas oder einen flexiblen Anlagenbetrieb durch Fütterungsmanagement ein. Um möglichst große Strommengen zu erzeugen, wenn ein höherer Preis erzielt werden kann, muss die zwischengespeicherte Gasmenge bei einer höheren elektrischen Leistung und über kürzere Betriebszeiten als im Grundlastbetrieb verwertet werden.

Dem entsprechend sind mit dem flexiblen Anlagenbetrieb neue Anforderungen an die Komponenten der Gasspeicherung, der Gasaufbereitung, der Gasverwertung und der Wärmenutzung verbunden. Im Folgenden werden die technischen Anforderungen an diese Komponenten beschrieben sowie unterschiedliche Technologien auf ihre Eignung für einen flexiblen Anlagenbetrieb verglichen. Zudem werden Hinweise zum flexiblen Anlagenbetrieb mit besonderem Fokus auf einzelne Anlagenkomponenten gegeben.

standüberwachung nicht zwangsweise ausschlaggebende Kriterien.

Bei der bedarfsgerechten Stromerzeugung stehen jedoch das zur Verfügung stehende tatsächlich nutzbare Gasspeichervolumen (Bruttovolumen abzüglich des nicht-nutzbaren Volumens → Lungenvolumen bzw. Nettovolumen), eine möglichst exakte Füllstandsüberwachung und die Kombinationsmöglichkeit (Verschaltbarkeit) mehrerer Gasspeicher zur Erhöhung des gesamten Lungenvolumens (Gasspeichermanagement) im Vordergrund.

Die Größe des zu installierenden Gasspeichervolumens für eine flexible Stromerzeugung hängt in erster Linie vom allgemeinen Anlagenkonzept ab. Hierbei sind Gasspeicherdauern ab 4 h der produzierten Rohbiogasmenge als sinnvoll für eine Vermarktung im Rahmen der flexiblen Stromerzeugung einzuschätzen. Ist an einer bestehenden Biogasanlage bereits ein ausreichendes Gasspeichervolumen vorhanden, kann bei einer entsprechenden installierten Verwertungsleistung auch flexibel Strom erzeugt werden. Dabei gilt: Nicht der Fahrplan bestimmt das notwendige Gasspeichervolumen, sondern das Gasspeichervolumen und die installierte

Leistung bestimmen den Fahrplan und dadurch die Flexibilität des Anlagenbetriebs.

Da durch die flexible Betriebsweise die Gasspeicher häufiger an die kritischen Betriebszustände „leer“ und „voll“ heranreichen, ist darüber hinaus eine mögliche Überarbeitung und Anpassung sowohl der Genehmigung als auch des Sicherheitskonzeptes (Gefährdungsbeurteilung, Sonderprüfung) zu berücksichtigen. Zudem sind die Vorgaben der Störfallverordnung zu beachten, welche ab einer Menge von 10.000 kg brennbaren Gases (ca. 7.300 m³N Biogas bei 50 % Methan) zur Anwendung kommt.

2.1. Gasspeichertechnologie

Üblicherweise wird an Biogasanlagen das Biogas in Drucklos- bzw. Niederdruckspeichern in einem Bereich von 0,05 bis 50 mbar Überdruck gespeichert. Sie bestehen meist aus beweglichen Folienmembranen. Diese müssen entsprechenden Sicherheitsanforderungen zur Gasspeicherung gerecht werden. Dazu zählen unter anderem eine möglichst geringe Gasdurchlässigkeit sowie eine entsprechende Reißfestigkeit und Belastungsfähigkeit hinsichtlich zu erwartender mechanischer, chemischer und thermischer Beanspruchung. Zudem ist die Beständigkeit gegenüber UV-Strahlung, Witterung sowie Schnee- und Windlasten zu berücksichtigen.

Mit der Bekanntmachung der Technischen Regeln für Anlagensicherheit (TRAS 120) am 20.12.2018 wurden die Anforderungen an den Stand der Technik von Biogasanlagen mit einer Genehmigung nach BImSchG sowie 12. BImSchV – Störfallverordnung überarbeitet. Dies gilt auch für die Membransysteme und Gasspeicher. Die Zukunftsfähigkeit einzelner bestehender Speichersysteme, insbesondere der Einfachfolien-Varianten, werden im Hinblick auf den Stand der Technik in der TRAS 120 zunehmend kritisch diskutiert. Die konkrete Umsetzung der Anforderungen durch die Behörden sowie der Geltungsanspruch der TRAS 120 wurde durch die obersten Immissionsschutzbehörden (i.d.R. Umweltministerien) festgelegt und müssen durch einen qualifizierten Sachverständigen nach §29b BImSchG überprüft werden. Mit dem

Inkrafttreten der neuen TA-Luft im Dezember 2021 wurden ebenfalls weitere auf der TRAS 120 basierende Anforderungen an die Ausgestaltung der Gasspeichersysteme vorgegeben:

- ▶ 2-schalige Ausführung der Gasspeicher
- ▶ Überwachung des Zwischenraums auf Methanleckagen
- ▶ kontinuierliche Füllstandsüberwachung des Gasspeichersystems

Auf die durch die TRAS 120 ausgewiesenen Vorgaben im Hinblick auf das Gasspeichersystem und den flexiblen Anlagenbetrieb wird in diesem Kapitel in orange hinterlegten Hinweisboxen eingegangen. Diese sollen auf geltende Anforderungen aufmerksam machen und dienen der Orientierung. Einen guten Überblick über den Stand der Technik bietet auch folgende Literatur.

- ▶ „Beschreibung des Stands der Technik und der Sicherheitstechnik für Membransysteme von Biogasanlagen“ der KAS (Rettenberger 2017)
- ▶ „Biogasanlagen VdS 3470:2016-03 (01)“ des GDV (2016)

Drucklos- und Niederdruckspeicher können als interne oder externe Speichersysteme ausgeführt sein. Dabei sind in dem Merkblatt DWA-M 377 „Biogas - Speichersysteme, Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit

von Membranabdeckungen“ die Bauformen in einschalige und zweischalige Gasspeichersysteme unterteilt, welche intern oder extern ausgeführt sind. Dabei ist zu unterscheiden, ob die Außenmembran mechanisch vorgespannt oder pneumatisch gestützt wird.

2.1.1 Einschaliges Gasspeichersystem

Einfachfolienbehälterhauben intern

Häufig wurden an Biogasanlagen Einfachfolienhauben aus EPDM oder PVC-beschichteten Polyestergeweben als internes Speichersystem auf den Behältern verbaut. Diese zeichnen sich durch einen geringen Investitionsaufwand aus und bieten eine direkte Sicht auf die Speichermembran. Bei steigendem Gasspeicherfüllstand dehnt sich die Folie aus. Dadurch verändert sich je nach Füllstand neben der Oberfläche der Gasspeicherhaube auch der Druck im Gasraum. Um zu verhindern, dass die Folie mit Gärsubstrat in Berührung kommt wird die Gasspeicher-

Nachfolgend werden die unterschiedlichen am Markt bestehenden Speichersysteme vorgestellt und eine Abschätzung über deren Eignung hinsichtlich eines flexiblen Biogasanlagenbetriebs vorgenommen.

membran an einem Stützmast mit Tragkonstruktion fixiert oder auf einer Säulenkonstruktion abgelegt. Je nach Bauart können entsprechende Schutz- und Dämmmaterialien installiert werden, bspw. ein Netz über der Membran zum Schutz vor mechanischer Überdehnung oder zusätzliche Wärmedämmung. Bei der Planung und Installation sind die statischen Anforderungen unter den vorherrschenden Betriebsbedingungen (u.a. Temperatur, Feuchtigkeit, Ablagerungen und Druck) zu beachten.

Bei dem einschlägigen Membransystem kann die Membran mechanisch oder pneumatisch vorgespannt sein.

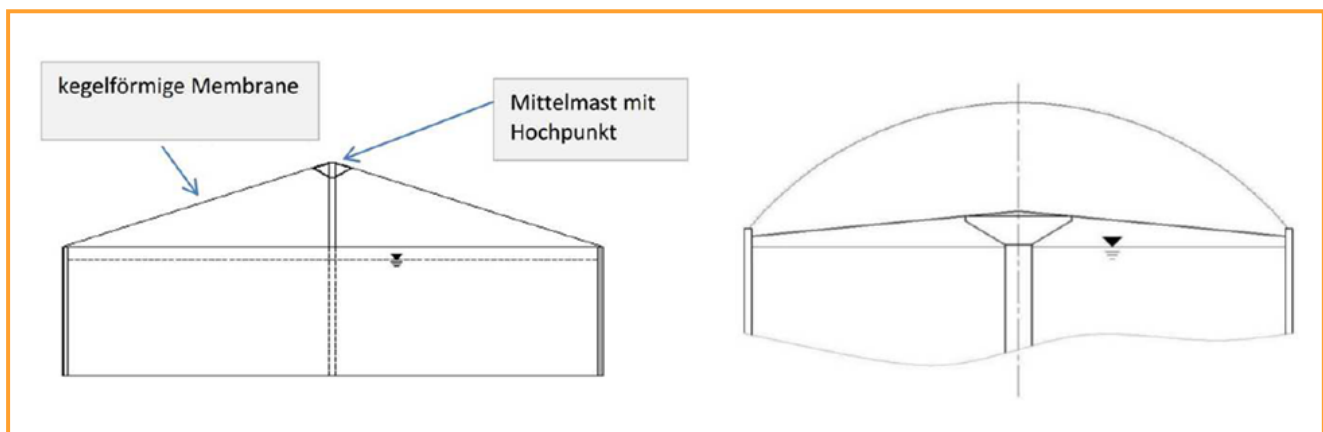


Abb. 2: Einschalige Membransysteme: (links) mechanisch, (rechts) pneumatisch vorgespannt (Quelle: DWA, 2016)

Die Gasspeichermembran ist direkten Witterungseinflüssen und einer wechselnden Belastung durch Dehnen und Zusammenziehen ausgesetzt. Durch das regelmäßige, geplante Be- und Entladen des Gasspeichers in kurzen Abständen wird die sich dehnende Membran bei der steuerbaren Stromerzeugung höher belastet als im Grundlastbetrieb. Dies kann unter Umständen zu einer geringeren Lebensdauer führen.

Um die Stabilität von Einfachfolienhauben bei Wind und Schneelasten zu gewährleisten, sollte die Membran zu jedem Zeitpunkt unter Spannung sein. Dies schränkt das zur Verfügung stehende Lungenvolumen deutlich ein.

Die Füllstandsüberwachung gestaltet sich bei Einfachfolienhauben durch die Vielzahl von Umwelteinflüssen auf die Membran und deren Auswirkung auf den Gasraum schwierig.

Einschalige Gasspeichersysteme: Das fordert die TRAS 120 und die TA Luft 2021:

- ▶ Anforderung an die ständige Dichtheitsüberwachung erfordert eine zusätzliche Umhüllung der Gasmembran -> Austausch einschaliger Membransysteme zum Ende der Standzeit (ohne Angabe spätestens nach 6 Jahren) oder nach irreparablen Beschädigungen oder spätestens bis 01.12.2029, (gilt insbesondere für Anlagen nach BImSchG und 12. BImSchV)
- ▶ Regelmäßige Dichtigkeitsprüfungen: tägliche Kontrolle auf mechanische Beschädigungen, wöchentliche Prüfung relevanter Stellen mit Gasspürgerät, halbjährlich mit optischen Verfahren (bspw. Gaskamera)

2.1.2 Zweischalige Gasspeichersysteme

Die Ausführung eines zweischaligen Gasspeichers besteht aus einer Außenmembran zum Schutz vor Witterungseinflüssen und einer Innenmembran zur Gasspeicherung.

Stützengetragene Doppelfolienbehältersysteme (intern)

Bei stützengetragenen Gasspeichersystemen erfolgt die Abdeckung des Behälters durch eine von einer Stütze getragenen Membran. Das erzeugte Biogas wird unter einer freien, durchhängenden Innenmembran gespeichert.

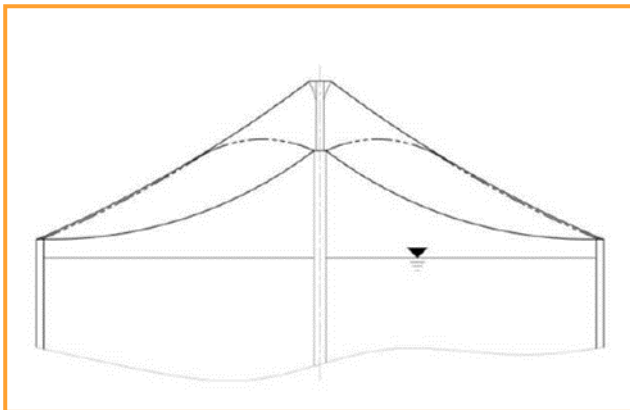


Abb. 3: Zweischaliges, mechanisch vorgespanntes Membransystem (Quelle: DWA, 2016)

Das für den bedarfsgerechten Betrieb zur Verfügung stehende Lungenvolumen ist bei dieser Gasspeichertechnologie eher gering. Eine exakte Füllstandmessung und ein Gasspeichermanagement sind mit solchen Systemen nur schwer realisierbar.

Luftgetragene Doppelmembranspeicher / Tragluftdächer (intern)

Luftgetragene Systeme, Doppelmembran-Gasspeicher oder Tragluftdächer bestehen aus einer inneren Gasspeichermembran und einer äußeren, formgebenden Membran zum Schutz vor Umgebungseinflüssen und zur Aufnahme einwirkender Lasten (Abb. 4).

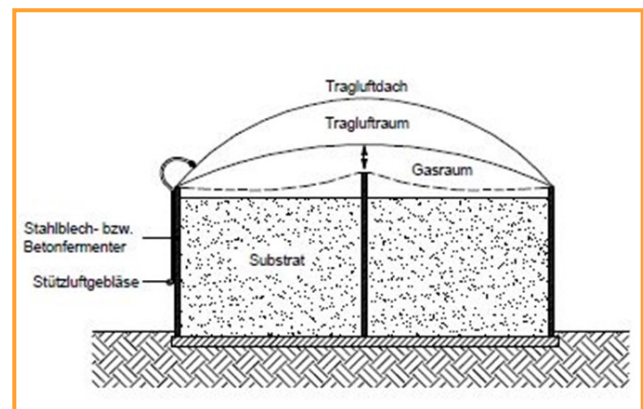


Abb. 4: Aufbauprinzip Doppelmembran (Tragluftdach) Gasspeicher (Quelle: LfU, 2007)

Die Form und Stabilität der äußeren Folie wird durch das Einblasen von Stützluft in den Zwischenraum zwischen äußerer und innerer Membran gewährleistet (Abb. 5). Die Stützluft bewirkt einen relativ konstanten Druck auf die Innenmembran und das darin eingeschlossene Biogas. Der durch die Stützluft erzeugte Druck wird dabei entsprechend über Auslassventile und Auslassklappen bei sich änderndem Lungenvolumen permanent angepasst.

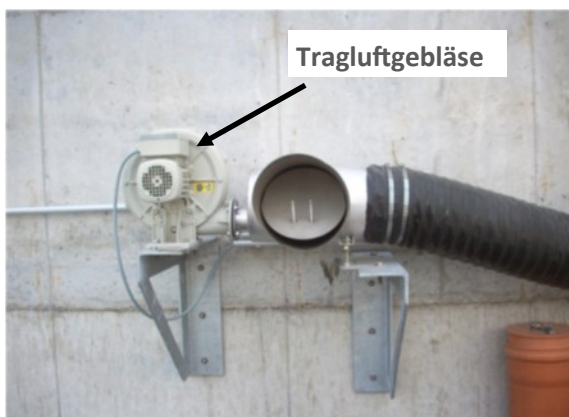


Abb. 5: Tragluftgebläse (Quelle: Sattler / CenoTec)

Durch die permanente Einstellung des Drucks im Speicher und Betriebsdrücke von bis zu 30 mbar bieten Doppelmembrangasspeicher die Möglichkeit eines effektiven Gasspeichermanagements.

Das Lungenvolumen von Doppelmembrangasspeichern wird von der Außenmembran und der Unterkonstruktion begrenzt. Tragluftdächer werden im Allgemeinen als Kegel sowie als $\frac{1}{4}$ - oder $\frac{1}{2}$ -Kugeln ausgeführt. Besonders die $\frac{1}{2}$ -Kugelform ermöglicht große Speichervolumina und etwas höhere Betriebsdrücke, was das Speichervolumen und die Flexibilität des Anlagenbetriebs erhöht.

Luftgetragene Doppelmembranspeicher (extern)

Externe, luftgetragene Doppelmembrangasspeicher werden meist als $\frac{3}{4}$ -Kugeln mit einer durch Stützluft getragenen äußeren Folie und einer inneren beweglichen Speichermembran ausgeführt. Die Bauform ermöglicht große Speichervolumina und Betriebsdrücke bis 30 mbar. Bei größeren Volumina ist der mögliche Betriebsdruck geringer. Der Druck im Gasspeicher ist einstellbar, wodurch für das Gasspeichermanagement externe Doppelmembrangasspeicher in Druckkaskaden integriert werden können.

Durch höhere Gasentnahmestromströme bei der flexiblen Stromerzeugung ist zu Spitzenlastzeiten eine entsprechende Modifizierung der Leistungsfähigkeit der Tragluftgebläse zu berücksichtigen. Eine Biogasanlage mit beispiels-



Abb. 3: Zufuhr Tragluft in Gasspeicher (Quelle: Sattler / CenoTec)

weise 250 kW_{el} Bemessungsleistung weist im Dauerbetrieb in etwa einen Gasvolumenstrom von 130 m³_N/h bei der Entnahme und Produktion auf. Wird nun die Verwertungsleistung im Taktbetrieb auf 500 kW_{el} verdoppelt, so erhöht sich der Entnahmestrom ebenfalls in etwa auf das Doppelte. Bei gleichbleibender Gasproduktion erfolgt die Entnahme somit in der Hälfte der Zeit. Dies führt dazu, dass das Tragluftgebläse während der Spitzenlastzeiten den doppelten Volumenstrom bereitstellen muss, um einen konstanten Druck für die Außenhülle und auf das Gasvolumen aufrechterhalten zu können. Ein ausgewogenes Verhältnis von zugeführter Stützluft zur Gasproduktion und -entnahme führt zu einer genaueren Füllstandbestimmung, stabileren Dächern und letztlich letztlich zu mehr Betriebssicherheit und einem optimierten Gasspeichermanagement.

Zweischalige Gasspeichersysteme: Das fordert die TRAS 120 und die TA-Luft 2021:

- ▶ Austausch der Membranen zum Ende der Standzeit, (ohne Herstellerangabe spätestens nach 6 Jahren) oder Verlängerung der Standzeit durch sicherheitstechnische Prüfung
- ▶ Zwischenraumüberwachung der inneren und äußeren Gasmembranen auf Methan (bei Störfallanlagen kontinuierliche Aufzeichnung)
- ▶ Kontinuierliche Überwachung des Gasspeicherfüllstandes
- ▶ Automatische Einrichtung zur Erkennung und Meldung unzulässiger Gasfüllstände
- ▶ Koppelung der Gasverbrauchseinrichtung mit dem Gasfüllstand
- ▶ Alarmgebung und Aufzeichnung der Auslösung der Über-/Unterdrucksicherung

2.1.3 Überblick

In Tab. 1 werden übliche Gasspeichertechnologien hinsichtlich der nutzbaren Volumina, der Möglichkeiten zur Füllstandsüberwachung und

des Gasspeichermanagements bewertet. Diese Eigenschaften müssen für einen flexiblen Anlagenbetrieb möglichst vollständig erfüllt werden.

Tab 1: Bewertung einzelner Gasspeichertechnologien (kategorisiert nach interne und externe Systeme)

	Speichertechnologie	Nutzbares Volumen	Füllstandsüberwachung	Gasspeichermanagement
Intern	Einfachfolienhauben (stützengetragen)	0	0	-
	Einfachfolienhauben (säulengetragen)	0	0	-
	Tragluftdachsysteme mit Doppelmembran	+	+	+
Extern	Luftgetragene Doppelmembrangasspeicher	+	+	+
	Foliensack	0	0	0

- = Nicht geeignet; 0 = Eingeschränkt geeignet; + = Geeignet

Wie der Vergleich eindeutig zeigt, sind für den flexiblen Anlagenbetrieb luftgetragene und Tragluft-Speichersysteme mit Doppelmembranen am besten geeignet. Es können im Vergleich die größten nutzbaren Volumina ermög-

licht und der Füllstand am exaktesten überwacht werden. Dazu bieten sie als einzige übliche Gasspeichertechnologie die Möglichkeit des aktiven Gasspeichermanagements.

2.2 Gasspeichermanagement

Erhöhtes Augenmerk bei der bedarfsorientierten Verwertung des Biogases ist dem Gasspeichermanagement zuzuwenden. Einer nach wie vor annähernd kontinuierlichen Gasproduktion steht im Fall der bedarfsgerechten Stromerzeugung eine diskontinuierliche Verwertung des Biogases entgegen. Dies wird durch das regelmäßige Entleeren und Befüllen der Gasspeicher ermöglicht.

Um bedarfsgerecht Strom zu erzeugen, müssen zu jedem Zeitpunkt die erzeugte Gasmenge, die gespeicherte Gasmenge und der Gasbedarf bekannt sein. Zudem ist einerseits sicherzustellen, dass das erzeugte Gas zu jedem Zeitpunkt gespeichert bzw. verwertet werden und andererseits der Bedarf abgedeckt werden kann.

Ziel des Gasspeichermanagements ist es, mit hinreichender Genauigkeit die aktuelle Situation in den Gasspeichern abzubilden und zu steuern. Auf Biogasanlagen erfolgt die Gasspeicherung oftmals an mehreren Speicherorten intern auf verschiedenen Behältern oder in externen Speichern. Hierbei dehnt sich das Gas je nach den am Speicherort herrschenden Bedingungen in unterschiedlichem Maße aus und strömt zu jeder Zeit zum Ort des niedrigsten Druckniveaus im Speichersystem.

Normierung des Gasvolumens

Zur Betriebsführung und Steuerung der Anlage bei der bedarfsgerechten Stromerzeugung ist die Erfassung der verfügbaren Gas- bzw. Energiemengen von enormer Bedeutung. Da sich das Volumen von Gasen in Abhängigkeit von Druck und Temperatur verändert, ist es für Vergleiche von Biogaserträgen und Biogasvolumenangaben sowie für Aussagen über die gespeicherten Energiemengen erforderlich, dieses auf den Normzustand umzurechnen. Für trockene Gase lässt sich das Normvolumen nach folgender Formel berechnen ([Online-Anwendung der LfL zur Volumenumrechnung](#)):

Wünschenswert für den flexiblen Betrieb ist es, dass sich dieser Gasspeicherort möglichst direkt vor der Gasaufbereitungsstrecke bzw. der Gasverwertung befindet, um eine kurzfristige Entnahme von Gas in größeren Mengen sicherstellen zu können. Dazu bietet es sich an, eine Druckkaskade zu erzeugen, bei der der niedrigste Druck im System an dem Ort herrscht, wo das Gas letztendlich für die Verwertung entnommen wird.

Gut geeignet für den Aufbau von Druckkaskaden sind luftgetragene Doppelmembran-Gasspeicher. Über die Stützluft können voneinander unabhängige Druckstufen eingestellt werden, sodass im letzten Gasspeicher in der Kaskade zu jedem Zeitpunkt der niedrigste Druck herrscht. Bei der bedarfsgerechten Gasverwertung muss jedoch sichergestellt sein, dass die Auslegung der einzelnen Stützluftgebläse dem maximalen Gasbedarf entspricht. Auch die Druckverluste in Verbindungen zwischen den einzelnen Gasspeichern (Gas-Pendelleitungen) müssen diesen Anforderungen entsprechen.

In die Druckkaskade können auch drucklose Gasspeicher integriert werden, jedoch sollten diese am Ende der Druckkaskade installiert werden.

$$V_N = \frac{V \times T_N \times p}{T \times p_N}$$

- V_N = Volumen des Gases in m^3
- V = tatsächliches Volumen in m^3
- T = Gastemperatur in K
- T_N = Normtemperatur 273,15 K
- P = Gasdruck in mbar
- P_N = Normdruck 1.013,25 mbar

Da in internen Gasspeichern das Biogas üblicherweise mit Wasserdampf gesättigt ist, muss der Wassergehalt des Gases berücksichtigt werden, um die gespeicherte Energiemenge ermitteln zu können. Eine relativ einfache und

praktikable Möglichkeit dies zu berücksichtigen, ist die Verwendung eines Korrekturfaktors in Abhängigkeit von der Gastemperatur (siehe Tab. 2) (KTBL, 2009).

Tab 2: Wasserdampf-Korrekturfaktor zur Berechnung des Normvolumens (nach KTBL, 2009)

	Temperatur (°C)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Wassergehalt (g / m ³)	6,8	9,4	12,8	17,3	23,1	30,4	39,7	51,2	65,3
Wasserdampfgehalt (l / m ³)	8,5	11,7	16	21,5	28,7	37,9	49,4	63,7	81,3
Korrekturfaktor	0,991	0,998	0,984	0,978	0,971	0,962	0,951	0,936	0,919

Großen Einfluss auf das speicherbare Normvolumen hat demnach die Gastemperatur. Diese hängt neben der Umgebungstemperatur hauptsächlich davon ab, ob der Gasspeicher auf einem beheizten Fermenter installiert ist und wie sich die Sonneneinstrahlung auf die Temperatur im Gasraum auswirkt. Doppelschalige Gasspeicher minimieren Umgebungseinflüsse. Zusätzlich verringern helle Außenmembranen den Einfluss der Sonneneinstrahlung, dessen Auswir-

kung auf die Gastemperatur vor allem bei wechselnder Bewölkung und bei Sonnenaufgang berücksichtigt werden muss.

Wie wichtig es ist, auf die Normierung der Gasvolumina zu achten, zeigt das Beispiel in Tab. 3. Bei den Bedingungen in diesem Beispiel beläuft sich der Betrag des verfügbaren, nutzbaren Normvolumens auf lediglich 86 % des Lungenvolumens.

Tab 3: Beispiel zur Normierung des Lungenvolumens

Lungenvolumen des Gasspeichers	
Mittlere Temperatur im Gasraum	30 °C
Überdruck im Gasspeicher (Betriebsdruck)	5 mbar
Umgebungsdruck	1.000 mbar
Korrekturfaktor Wasserdampf	0,962
Verfügbares Biogasvolumen normiert*	1.720 m ³ _N
* $VN = \frac{2.000 \text{ m}^3 \times 273,15 \text{ K} \times 1.005 \text{ mbar}}{303,15 \times 1013,25 \text{ mbar}} \times 0,962 = 1.720 \text{ m}^3_{\text{N}}$	

2.3 Füllstandsüberwachung

Um die im Gasspeicher gespeicherte Energiemenge zu erfassen, muss neben der Gaszusammensetzung, dem Druck und der Temperatur im Gasraum das genutzte Lungenvolumen bekannt sein. Im Folgenden werden die verfügbaren Technologien zur Überwachung des Füllstandes mit Hauptfokus auf Tragluftsysteme bewertet.

Bei Tragluftsystemen erfolgt die Messung des Füllstandes über die Lage der Innenmembran.

Da der Druck im Gasspeicherraum und zwischen Innenmembran und Außenmembran annähernd gleich ist, kann sich die Speichermembran je nach Strömungsverhältnissen im Gasraum und im Traglufttraum unterschiedlich und unregelmäßig ausformen (vgl. Abb. 4). Das stellt die verschiedenen Messverfahren zur Bestimmung der Lage der Innenmembran vor Herausforderungen, so dass diese unterschiedlich gut für die Füllstandsüberwachung geeignet sind.

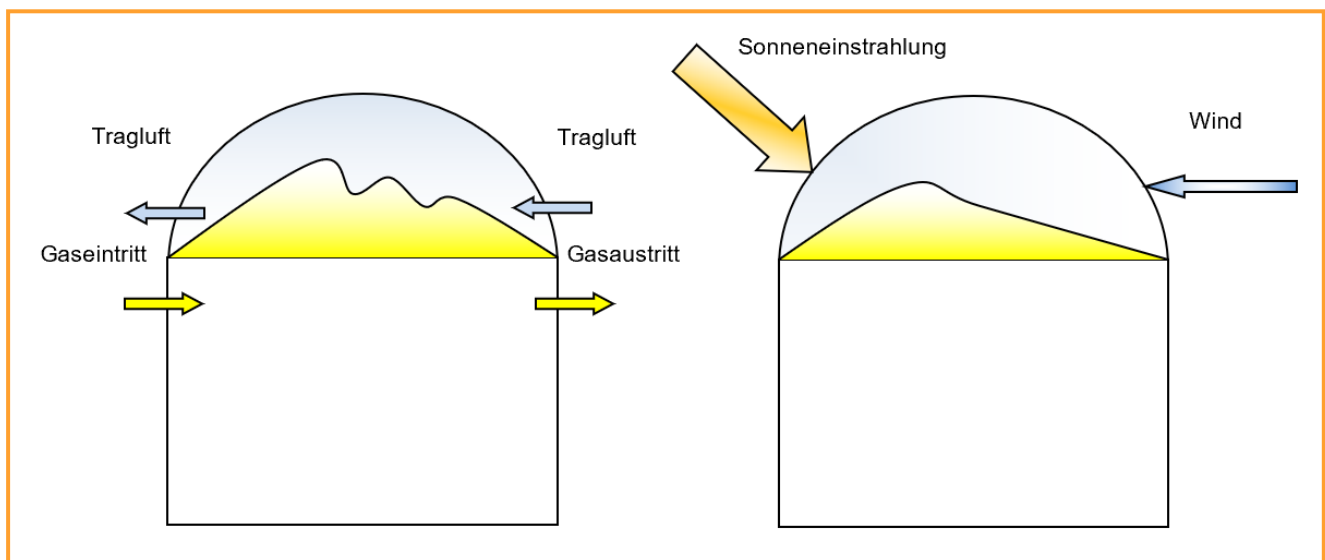


Abb. 4: Schematische Darstellung der unregelmäßigen Ausformung der Gasspeichermembran bei Tragluftfoliendächern (Quelle: Häring, 2015)

Die Füllstandmessung kann mit Systemen, die auf der Gasspeichermembran montiert werden erfolgen oder mit Systemen, welche berüh-

rungslos den Abstand der Gasspeichermembran zu einem Referenzpunkt messen.

2.3.1 Berührungslose Systeme (Ultraschall)

Berührungslose Systeme, die mittels eines Ultraschallsignals den Abstand zwischen der Außenmembran und der Speichermembran messen, werden bei internen, auf Behältern verbauten Tragluftsystemen nicht eingesetzt. Bei externen $\frac{3}{4}$ -Kugeln ist diese Technologie jedoch sehr gut anzuwenden, da hier die Speicher-

membran so gestaltet werden kann, dass sie sich definiert ausformt. Bei behälterverbauten Systemen ist dies nicht möglich, da die Speichermembran keinen definierten Reflexionspunkt bietet.

2.3.2 Seilzüge

Bei Seilzug-Messsystemen wird ein an der Speichermembran angebrachtes Seil so über die Membran geführt, dass eine Lageänderung der Membran auf das Seil übertragen wird. Das Seil wird durch die Außenmembran geführt und endet über Umlenkrollen in einem Messrohr. Än-

dert sich die Lage der Membran, ändert sich entsprechend die Position des Seilendes im Messrohr. Am Seilende ist ein Magnet angebracht, welcher am Messrohr installierte Reed-Kontakte schaltet (Abb. 5).

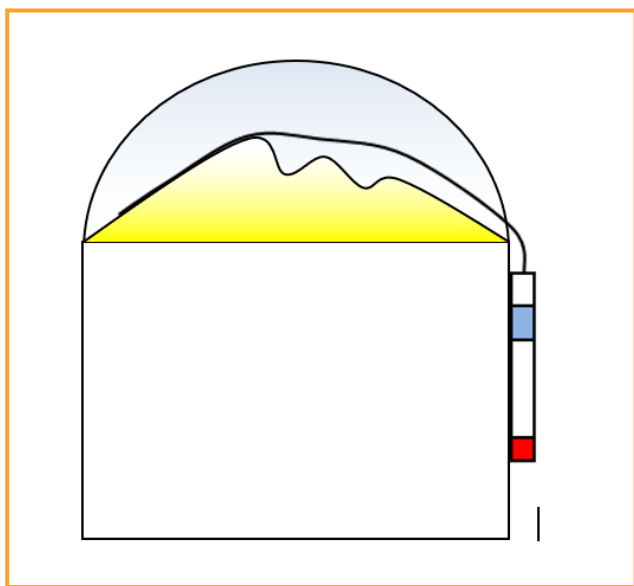


Abb. 5: Schematische Darstellung eines Seilzug-Messsystems zur Füllstandsüberwachung (Durchhängen der Speichermembran und Verfälschung des Messwertes) (Quelle: Häring, 2015)

Nachteilig an Seilzug-Systemen ist, dass der Messwert schwer interpretierbar ist, da bei gespanntem Seil die Speichermembran durchhängen kann oder Auswölbungen vom Seil nicht erfasst werden. Weiter werden die Messwerte über die von den Reed-Kontakten geschaltete Widerstandskette nur grob aufgelöst, was die

Interpretation der Messwerte erschwert. Des Weiteren ist dieses mechanische Messsystem sehr störungsanfällig: beispielsweise kann sich das Seil verfangen, wodurch das Ergebnis unbrauchbar für das Gasspeichermanagement wird.

2.3.3 Schlauchwagen

Stand der Technik bei der Füllstandsüberwachung beweglicher Gasspeichermembranen sind Schlauchwagen. Bei diesem System wird an einer definierten Stelle an der Innenmembran ein mit Flüssigkeit gefüllter Schlauch befestigt. Bei Änderung der Höhe der Speichermembran ändert sich der Druck der Wassersäule im Schlauch. Diese Druckänderung wird gemessen und die Höhe des definierten Messpunktes

kann bestimmt werden.

Ein großer Vorteil dieses Systems ist, dass auf der Speichermembran auch mehrere Schlauchwagen installiert werden können, wodurch die gesamte Ausformung der Membran besser berücksichtigt werden kann. Mit drei auf der Speichermembran verteilten Schlauchwagen (vgl. Abb. 6) können aussagekräftige Ergebnisse erreicht werden.

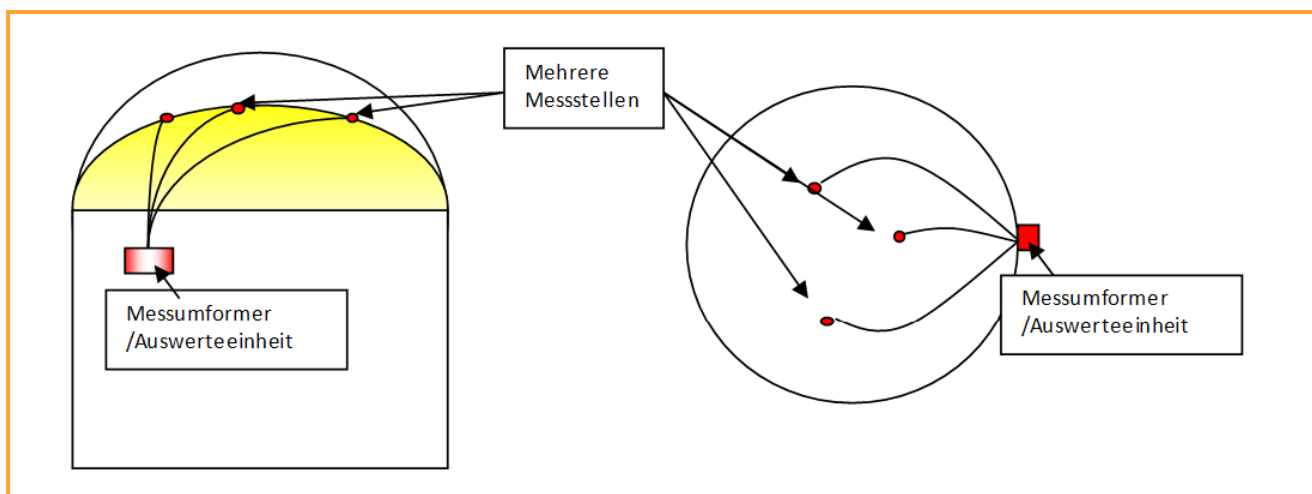


Abb. 6: Platzierung mehrerer Schlauchwaagen auf der Speichermembran (Quelle: Häring, 2015)

Füllstandsüberwachung: Das fordert die TRAS 120:

- ▶ Kontinuierliche Überwachung des Gasfüllstands,
- ▶ Automatisierte Einrichtung zur Erkennung und Meldung des Gasfüllstands
- ▶ Automatische Ansteuerung der entsprechenden (zusätzlichen) Gasverbrauchseinrichtungen
- ▶ Meldung minimaler und maximaler Gasfüllstände durch ein Schutzsystem

3. Gasstrecke und BHKW

Bei der Flexibilisierung der Stromerzeugung stellt sich die Frage, durch welche Betriebsweise und Kommunikationstechnik die Flexibilität erreicht wird. Mögliche Betriebsweisen für die flexible Stromerzeugung sind das Takten der Stromerzeugungsaggregate bei Nennlast oder deren Betrieb im Teillastbereich.

Motoren von Biogas-BHKW sind aus heutiger Sicht weit entwickelt und für den Betrieb mit Biogas optimiert. Aufgrund der bisherigen För-

derstruktur im EEG wurden sie an den Grundlastbetrieb angepasst und für eine hohe Anzahl von Volllaststunden optimiert. Da BHKW oft ursprünglich für den KWK-Betrieb oder als Notstromaggregate eingesetzt wurden und somit auch flexibel betrieben werden können, besitzen BHKW-Hersteller im Allgemeinen jedoch viel Erfahrung mit dem flexiblen Betrieb von Blockheizkraftwerken. Diese Erfahrungen können somit auch auf Biogas-BHKW übertragen werden.

3.1 Kommunikationstechnik

In der Regel ist ein Zugriff des Stromvermarkters auf die Anlagensteuerung bei flexiblem Anlagenbetrieb nicht zwingend notwendig. Der Stromvermarkter arbeitet im Allgemeinen mit dem Biogasanlagenbetreiber einen Stundenfahrplan aus. Der Stundenfahrplan zeigt dem Anlagenbetreiber, zu welchen Zeiten durch

eine flexible Fahrweise i.d.R. höhere Erlöse als der veröffentlichte Marktwert für steuerbare Energie zu erzielen sind. Hierbei kann der Stromvermarkter den Stundenfahrplan an die jeweiligen Marktgegebenheiten anpassen. Den Stundenfahrplan erhält der Biogasanlagenbetreiber in der Regel mit ausreichender Vorlauf-

zeit. Bei Änderungen des Lieferumfanges, z. B. Anlagenerweiterungen, (teilweisen) Stilllegungen oder Wartungsarbeiten, muss der Biogasanlagenbetreiber dem Stromvermarkter dies zeitnah mitteilen, sofern diese planbar und vorher bekannt sind. Sind derartige Änderungen für den Betreiber lediglich kurzfristig vorhersehbar, so sollte der Biogasanlagenbetreiber dem Stromvermarkter dies unverzüglich melden.

3.2 BHKW-Taktbetrieb

Taktung ist eine unterbrochene Betriebsweise des BHKWs im Wechsel zwischen Stillstand und Betrieb des Aggregates, wobei ein Takt den Betrieb vom Start bis hin zum Stopp bezeichnet. Grundsätzlich sind BHKW mit Verbrennungsmotoren gut zur Taktung geeignet. Sie können dauerhaft in Bereitschaft gehalten werden und erlauben schnelle Reaktionszeiten. Die Taktung kann durch einen definierten Fahrplan zu festgelegten Zeiten oder kurzfristig nach Preissignal bzw. Bedarf erfolgen. Häufigere Starts und Stopps führen zu veränderten Betriebsbedingungen und Belastungen. Diese sind in entsprechendem Maße bei der Umstellung von Bestands-BHKW sowie der Auslegung und Einbindung zusätzlicher Einheiten zu berücksichtigen.

Start und Stopp sind mit veränderten Belastungen gegenüber dem Nennlastbetrieb von Aggregaten verbunden. Unter Nennlast arbeitet der Motor in seinem optimalen Bereich (höchster Wirkungsgrad und minimaler Verschleiß).

Während der Verbrennung entstehen im Brennraum hohe Temperaturen, die zu entsprechenden Belastungen der Komponenten führen. Im Nennlastbetrieb pendelt sich dabei ein stabiler Betriebszustand ein, auf den die einzelnen Bauteile, Komponenten und auch die Schmierung abgestimmt bzw. ausgelegt sind. Beim Start jedoch sind die Komponenten noch kalt und die zur Reibungsminimierung nötige Schmierung besteht noch nicht. Mit der einsetzenden Verbrennung werden die Materialien hohen Temperaturen ausgesetzt. Komponenten wie Zylinder, Zylinderköpfe und Kolben sowie die Abgasseite unterliegen beim Start hohen Temperaturunterschieden, was zu Spannungen in den

Neben der vorher genannten Vorgehensweise kann zusätzlich auch Kommunikationstechnik installiert werden, wodurch der Stromvermarkter direkten Zugriff auf die Fahrweise der Biogasanlage hat. Hierfür gibt es derzeit keinen einheitlichen Standard. Somit muss die entsprechende Kommunikationstechnik mit dem jeweiligen Stromvermarkter und dem BHKW-Hersteller abgestimmt werden.

Materialien und unterschiedlichen Spaltmaßen führen kann. Dies bringt Reibungseffekte mit sich, welche durch den zu Beginn des Taktes noch nicht aufgebauten Schmierfilm verstärkt werden können.

Um eine hohe Standzeit und Betriebssicherheit zu erhalten, müssen die vom BHKW-Hersteller vorgegebenen Mindestlaufzeiten pro Start eingehalten werden. Entsprechend sind auch die Wartungsabläufe und -pläne nach den Herstellerangaben dem Taktbetrieb anzupassen. Die entsprechenden Vorgaben der Hersteller hierzu sind unterschiedlich und variieren von 1,5 bis 12 Betriebsstunden pro Start. Allgemein gilt, je größer die Leistung des BHKWs, desto höher die Mindestlaufzeit pro Start. Eine detaillierte Absprache des Fahrplans zur flexiblen Stromerzeugung mit den jeweiligen BHKW-Herstellern ist grundsätzlich zu empfehlen, um die notwendige Sicherheit für den Betrieb und mögliche Garantieansprüche bei Defekten des Aggregates zu erhalten.

Die aus häufigem Start und Stopp resultierenden ungünstigeren Betriebsbedingungen können zu geringeren Standzeiten des Motors, verminderten Wirkungsgraden und höherem Betreuungsaufwand des Aggregates führen. Zudem ist während der Anfahr- und Abstellphase mit höheren Abgasemissionen und bei Zündstrahlmotoren zusätzlich mit einem erhöhten Zündölverbrauch zu rechnen. Eine vollständige Vermeidung der Belastungen für den Startvorgang ist nicht möglich, jedoch lassen sich durch unterstützende Maßnahmen über Hilfseinrichtungen diese Einflüsse deutlich abmildern.

Hilfseinrichtungen zur Startunterstützung

Wichtigste Hilfseinrichtungen zur Erreichung langer Standzeiten bei flexibel betriebenen BHKW sind Vorwärmung und Vorschmierung. Bei vielen modernen Aggregaten werden derartige Einrichtungen bereits serienmäßig eingesetzt. Ein weiterer Vorteil des Einbaus von Start-

hilfeeinrichtungen ist neben der Standzeiterhöhung eine höhere Startbereitschaft des BHKWs, da geringere Widerstände überwunden werden müssen und bessere Bedingungen für die einsetzende Verbrennung herrschen (van Busshuyzen und Schäfer 2004).

Vorwärmung

Die Vorwärmung des Aggregates vor dem Start ist eine effektive Möglichkeit zur Minimierung auftretender Startbelastungen. Sie führt zu erhöhter Startbereitschaft und -fähigkeit. Hierzu werden die Motorkomponenten und das Schmieröl im Vorfeld des Startes auf eine Temperatur von ca. 56 bis 60 °C erwärmt (GE Jenbacher 2012). Genutzt wird dazu der Kühlwasserkreislauf des BHKWs (Zacharias 2001). Der anfallende Installationsaufwand beschränkt sich auf die Installation der Wärmequelle, zusätzliche Bauteile für die Umschaltung des Kühlkreislaufes und die entsprechende Einbindung in die Motorsteuerung. Als Wärmequelle kann beispielsweise ein in den Kühlkreislauf eingebundener elektrischer Heizstab eingesetzt werden. Es kann auch ein Wärmespeicher im Heizkreis oder die auf der Biogasanlage vorhandene Prozesswärme genutzt werden.

Die notwendigen Betriebszeiten der Vorwärmung hängen dabei von der Fahrweise des

BHKWs, der Dauer der Stillstandszeiten zwischen den Betriebstakten und der zur Verfügung stehenden Heizleistung ab. Stillstandszeiten unter zwei Stunden erfordern in der Regel kein Vorwärmen, da der Motor noch über ausreichend Temperatur verfügt. Wichtiges Kriterium für die Auskühlung des Motors ist der Aufstellungsort des BHKWs, in dem zwar für eine gute Belüftung zu sorgen ist, aber kein allzu starker Zug herrschen sollte, wenn das Aggregat still steht. Die Vorwärmung kann entweder periodisch für eine permanente Warmhaltung erfolgen oder über einen definierten Fahrplan zu festen Zeiten, entsprechend vor dem jeweiligen Start.

Bestehende Aggregate können entsprechend nachgerüstet werden. Im Vergleich zum allgemeinen Investitionsaufwand eines Biogas-BHKWs sind die Kosten für eine zusätzliche Vorwärmung als gering anzusehen.

Vorschmierung

Bei der Vorschmierung wird mittels einer zur Hauptölpumpe parallel angeordneten separaten Elektropumpe vor dem Start Schmieröl zu den Lagerstellen gefördert und somit eine Minimierung der Reibung erreicht. Weiterer Vorteil einer separaten Elektroölpumpe ist die Möglichkeit der Nachschmierung des Aggregates nach dem Abstellen, um noch nachdrehende Teile wie den Turbolader weiterhin mit Schmieröl zu versorgen und eine langsame Abkühlung heißer Bauteile sicher zu stellen (GE Jenbacher 2012). Analog zur Vorwärmung kann die Vorschmie-

rung über periodischen Betrieb für permanente Bereitschaft oder bei definiertem Fahrplan kurz vor dem jeweiligen Start erfolgen.

Die notwendige Leistung der Pumpe ist dabei abhängig von der Aggregatgröße. Für übliche Größen von Biogas-BHKW kann nach Aussagen von Herstellern mit einem Leistungsbedarf von ca. 2 bis 5 kW_{el} der separaten Elektropumpe ausgegangen werden. Kleine Aggregate bis ca. 500 kW_{el} erfordern in der Regel nach Herstellerangaben oft keine Vorschmieranlage, da bereits

mit dem Anlasser die Schmierung einsetzt und nach etwa zwei bis drei Sekunden ein ausrei-

chend hoher Öldruck erreicht ist.

Anlassersysteme

In höherem Maße gefordert sind durch den Taktbetrieb die Anlasserkomponenten, die einer häufigeren Belastung ausgesetzt sind. In der Regel werden batteriebetriebene Anlassersysteme eingesetzt. Diese beziehen die Antriebsenergie aus den Starterbatterien, welche über mechanische Vorrichtungen, sogenannte Schubschraubtriebstarter (Zacharias 2001), auf das Motorschwungrad übertragen wird und dieses in Bewegung setzt. Ziel ist es, eine möglichst hohe Startdrehzahl zu generieren, um ein leichteres Starten zu ermöglichen (van Basshuysen und Schäfer 2004).

Als alternatives Anlassersystem kann ein Netz-

startgerät eingesetzt werden. Hierbei wird der Motor durch Nutzung der Energie aus dem allgemeinen Stromnetz gestartet. Vorteil eines Netzstartgerätes gegenüber batteriebetriebenen Anlassern ist die höhere mögliche Anlassdrehzahl (ca. 20 %) sowie eine höhere Belastbarkeit.

Für ein sicheres Startverhalten gilt unabhängig vom gewählten System, dass permanent einwandfrei funktionierende Anlasser ein wichtiges Kriterium für den Taktbetrieb darstellen. Dies erfordert somit eine gezielte Betreuung und Wartung, um stets Startersicherheit zu gewährleisten.

Kondensatbildung durch Taktbetrieb

Bei den mit dem Taktbetrieb einhergehenden häufigeren Kaltstarts entsteht im Vergleich zum Grundlastbetrieb eine größere Menge an Kondensat im Abgas. Heiße Gase kommen mit noch kalten Bauteilen in Berührung, wodurch Wasserdampf an entsprechenden Bauteilwänden kondensiert. Das entstehende Kondensat kann je nach Verbrennungsluftverhältnis pH-Werte von 4 bis 6 bei Magermotoren und ca. 7 bei stöchiometrischem ($\lambda=1$) Betrieb besitzen (Zacharias 2001). Wird der Motor warm gestartet, verringert sich die anfallende Kondensatmenge.

Das anfallende Kondensat muss über Kondensatabscheider bzw. Kondensatfallen abgeführt werden. Dabei ist auf eine umweltgerechte

Neutralisation des Kondensates zu achten, um schädliche Umweltauswirkungen zu vermeiden und entsprechende gesetzliche Vorgaben zu erfüllen.

Problematischer ist jedoch die Kondensatbildung im Abgastrakt nach dem Abstellen des Motors. Hier besteht vor allem in Verbindung mit H_2S eine erhebliche Korrosionsgefahr. Betroffen sind hierbei besonders der Turbolader, der Abgaswärmetauscher und die Katalysatoren (Oxidations- und SCR-Katalysatoren) sowie die neuerdings zum Einsatz kommenden NO_x -Sensoren. Deshalb ist im Taktbetrieb besonderes Augenmerk auf die Reinigung des Biogases zu richten. Die vollständige Entfernung des H_2S wird deshalb immer wichtiger.

3.3 BHKW-Teillastbetrieb

Eine weitere Option für die flexible Stromerzeugung in Biogasanlagen ist der Teillastbetrieb von BHKW. Der Vorteil im Vergleich zum Taktbetrieb

bei Nennlast besteht darin, dass trotz flexiblen Betriebes zusätzliche Startvorgänge vermieden werden können.

Biogas-BHKW können im Allgemeinen im unteren Leistungsbereich mit bis zu minimal 40 % ihrer Nennleistung betrieben werden. Für den Motor bedeutet dies jedoch höhere Belastungen, da im Teillastbereich keine optimalen Betriebsbedingungen herrschen. Die Nebenantriebe, der Kühlkreislauf und der Schmierölkreislauf sind für den Nennlastbetrieb aufeinander abgestimmt. Pumpen oder Turbolader arbeiten im Teillastbereich nicht mehr in ihrem optimalen Betriebspunkt. Dies verursacht beispielsweise einen erhöhten Schmierölverbrauch sowie Hilfsenergiebedarf. Auch der Teillastbetrieb ist mit einer größeren Menge an anfallendem Kondensat verbunden, da der im Vergleich mit dem Nennlastbetrieb geringere Abgasvolumenstrom schneller abkühlt. Des Weiteren erfolgt die Verbrennung des Brennstoff-Luft-Gemisches nicht mehr optimal. Der Motor wird durch unverbrannte Bestandteile des Gasgemisches höheren Belastungen ausgesetzt und es erhöhen sich die Schadstoffemissionen (Jung und Müller 2008). Hierbei sind die jeweils geltenden Abgasgrenzwerte aus der Anlagengenehmigung zu beachten (TA-Luft bzw. 44. BImSchV).

Um allzu hohe Belastungen zu vermeiden erfolgen von Seiten der Hersteller unterschiedliche Vorgaben zur maximal möglichen Teillast (40 bis 50 % der Nennleistung) sowie zu möglichen Betriebszeiten in den Teillastbereichen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass ein Teillastbetrieb zu erhöhten Motorbelastungen und geringeren elektrischen Wirkungsgraden bei der Gasverwertung führt. In Abb. 7 ist die Wirkungsgradkennlinie eines beispielhaften BHKWs im Teillastbereich dargestellt. Im Teillastbereich weist das BHKW entsprechend einen geringeren elektrischen Wirkungsgrad auf. Ein deutlicher Abfall des elektrischen Wirkungsgrades ist hierbei bereits ab 85 % der Nennleistung festzustellen. In der Praxis ist von noch deutlicheren Wirkungsgradeinbußen auszugehen, die zusätzlich 1 bis 2 Prozentpunkte betragen können (Jung und Müller 2008).

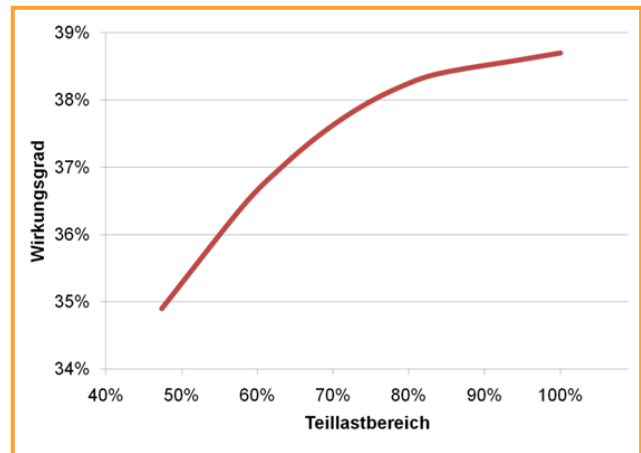


Abb. 7: Kennlinie Wirkungsgrad BHKW (Quelle: ZG Energietechnik, 2011)

Allgemein gilt, dass ab ca. 90 % Teillast ein energetisch effizienterer Betrieb von Biogas-BHKW durch Takten bei Volllast erreicht werden kann (Jung und Müller 2008). Hohe Teillastbetriebszeiten bergen das Risiko, zusätzliche Strommarkterlöse durch eine schlechtere Verwertung des Biogases und den damit verbundenen erhöhten Rohstoffeinsatz zu verspielen.

Neben dem elektrischen Wirkungsgrad wirkt sich ein Teillastbetrieb auch ungünstig auf die Abgasemissionen aus. Durch die weniger effiziente Verbrennung erhöht sich vor allem der Ausstoß an Kohlenwasserstoffen auch „Methanschlupf“ genannt. Untersuchungen von Aschmann et. al (2010) zeigten für 70 % Volllast bis zu dreifach erhöhte Kohlenwasserstoffkonzentration im Abgas. Dies wirkt sich erheblich auf die Treibhausgasbilanz des erzeugten Stroms aus.

Es ist anzunehmen, dass das BHKW im Teillastbetrieb etwas geringeren Belastungen als bei häufigeren Starts ausgesetzt ist, jedoch kann dem BHKW im Volllast-Taktbetrieb durch kürzere Betriebszeiten für die Erzeugung der gleichen Strommenge eine längere Lebensdauer in Jahren zugeschrieben werden.

Dennoch ergeben sich auf Biogasanlagen immer wieder Situationen, in denen ein zeitweiser Teillastbetrieb durchaus interessant erscheint, z. B. wenn Startprobleme durch kurzfristige Störungen der Vergärung auftreten oder Limitationen von Seiten der Wärmeabnehmer bestehen. Ge-

rade die Wärmeversorgung der Biogasanlage oder externer Abnehmer kann je nach Gege-

benheiten vor Ort ein wichtiges Argument für oder gegen den Teillastbetrieb sein.

3.4 Gasstrecke und Gasaufbereitung

Die Gasstrecke einschließlich der Gasaufbereitung muss bei einer flexiblen Stromerzeugung auf den erhöhten Gasdurchfluss bei der maximalen Stromproduktion ausgelegt sein. Hierfür sind vor allem Anpassungen hinsichtlich der Dimensionierung von Gasleitungen (höherer Gasfluss, Druckverluste), Armaturen, Gastrocknung und Entschwefelung (verstärkte Kondensatbildung) vorzunehmen.

Durch die mit der flexiblen Stromerzeugung verbundenen ungünstigen Bedingungen für das BHKW, welche durch den Taktbetrieb bzw. den Teillastbetrieb hervorgerufen werden, kann das BHKW vorwiegend durch hohe Wasserdampf- und Schwefelwasserstoffgehalte im Biogas stärker belastet sein als im Grundlastbetrieb. Diese Punkte sind in Absprache mit dem jeweiligen BHKW-Hersteller zu klären, um gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen.

Technische Einrichtungen am BHKW: Das fordert die TRAS 120:

- ▶ Einrichtung zur kontinuierlichen Messung und Erkennung ungewünschter Reaktionen im Aktivkohleadsorber (z.B. CO, oder SO₂),
- ▶ Aktivkohleadsorber mit Anschluss zur Inertisierung mit Stickstoff
- ▶ Ausrüstung mit Gaswarnanlage und Brandmelder im Maschinenraum
- ▶ Gaswarnanlage muss mit technischen Lüftungseinrichtungen, Verdichter, Gasverbrauchseinrichtungen bzw. Gasabsperrhahn gekoppelt sein

Anforderungen an zusätzliche Gasverbrauchseinrichtungen nach TRAS 120:

- ▶ Auslegung für den minimal und maximal anfallenden Gasvolumenstrom
- ▶ Sicherstellung eines ausreichenden Gasvordrucks (Verdichter)
- ▶ Automatische Zündung
- ▶ Mindestens jährliche Dichtheitsprüfung
- ▶ Regelmäßige Funktionsprüfung (monatlich oder häufiger)
- ▶ Automatische Registrierung des Betriebs
- ▶ Verdeckte Verbrennung durch das Brennröhre

4. Wärmeversorgung

Die Versorgung von externen und internen Wärmeabnehmern stellt einen weiteren Baustein

dar, der bei der flexiblen Stromerzeugung durch Biogasanlagen berücksichtigt werden muss.

4.1 Prozesswärme

Um einen leistungsfähigen Gärprozess aufrecht zu erhalten, ist ein ausreichend hohes und stabiles Temperaturniveau erforderlich. Der Wärmebedarf für die Fermenterbeheizung ist

von vielen Faktoren abhängig und hochgradig anlagenspezifisch. Neben dem Temperaturniveau der Prozessführung und den eingesetzten Substraten spielt auch die Verweilzeit eine Rol-

le. Ebenso ist die bauliche Ausführung der Behälter von Bedeutung, speziell die Wärmedämmung der Mantelfläche und die Art der Abdeckung. Beispielsweise dämmen Behälterabdeckungen mit Doppelmembranen deutlich besser als einfache Folienhauben.

Momentan erfolgt die Wärmebereitstellung auf Biogasanlagen durch den permanenten Betrieb des BHKW. Kurzfristige Wartungsarbeiten oder Störungen können durch die in den Behältern gespeicherte Wärme in der Regel problemlos überbrückt werden. Der Temperaturabfall in

den Gärbehältern bleibt dabei in einem für den Gärprozess vertretbaren Rahmen. Problematisch sind lediglich Anlagen mit einem hohen Gülleanteil, da hier sehr große Mengen an Wasser mit aufgeheizt werden müssen. Daher ist zu überlegen, die Zufuhr von Gülle in Zeiten zu verlegen, in denen das BHKW in Betrieb und somit eine zügige Erwärmung gewährleistet ist. Um die Wärmeversorgung der Fermenter sicher zu stellen, kann es im Einzelfall erforderlich sein, die Stillstandzeiten der Gasverwertung durch einen Wärmepufferspeicher zu überbrücken.

4.2 Externe Wärmeabnehmer

Wärmesenken, die nicht kontinuierlich versorgt werden müssen, wie z. B. Trocknungsprozesse, können in Zeiten des BHKW-Betriebes verlegt werden. Mit entsprechend dimensionierten Pufferspeichern lässt sich auch eine kontinuierliche Wärmeversorgung mit einer flexiblen Stromerzeugung vereinbaren. Die jeweils erforderliche Kapazität des Speichers sowie dessen Wirtschaftlichkeit kann nur einzelbetrieblich betrachtet werden.

Letztendlich kann durch zusätzlich installierte Kapazitäten für die Biogasverwertung und die Wärmespeicherung eine Redundanz bei der Wärmeversorgung geschaffen werden. Die Flexibilität der Anlage bzw. die Fahrpläne können im Jahresverlauf an die Jahresdauerlinie der Wärmenutzung angepasst werden. Es muss jedoch auch klargestellt werden, dass eine gleichzeitige Optimierung der Flexibilität der Stromerzeugung und des Wärmenutzungsgrades mit vertretbarem Aufwand nicht realisiert werden kann.

Zusammenfassung

Die hier vorliegende Fachinformation zur flexiblen Stromerzeugung durch Biogasanlagen geht zunächst kurz auf die Direktvermarktung im Rahmen des EEG 2021 ein und beschreibt Optionen sowie Möglichkeiten einer flexiblen Betriebsweise von Biogasanlagen.

Im Anschluss daran wird auf die technischen Herausforderungen hinsichtlich der Gasspeicherung näher eingegangen. Hierbei werden Einfachfolienhauben, stützengetragene Systeme, luftgetragene Doppelmembrangasspeicher und Foliensäcke analysiert. Eine Bewertung der unterschiedlichen Gasspeichertechnologien zeigt, dass luftgetragene Gasspeichertechnologien besonders für einen flexiblen Anlagenbetrieb geeignet sind. Des Weiteren wird das Gasspeichermanagement und dessen Wichtigkeit für einen flexiblen Anlagenbetrieb beschrieben. Ein

weiterer Betrachtungspunkt ist die Füllstandsüberwachung von luftgetragenen Doppelmembrangasspeichern. Hierbei werden Ultraschall-, Seilzug- und Schlauchwaagen-Messsysteme analysiert und deren Eignung zur sicheren Füllstandsüberwachung bewertet. Es wird empfohlen Schlauchwaagensysteme zur Füllstandsüberwachung in luftgetragenen Doppelmembrangasspeichern einzusetzen.

Die technischen Herausforderungen im Bereich des BHKW stehen als nächster Punkt der Fachinformation im Vordergrund. Hierbei werden die Kommunikationstechnik, unterschiedliche Betriebsweisen des BHKW zur flexiblen Stromerzeugung, sowie Hilfseinrichtungen zur Startunterstützung betrachtet. Als zu favorisierende Betriebsweise des BHKW wird der Taktbetrieb erachtet, wobei hierfür möglicherweise

Modifikationen im Bereich der Vorwärmung, des Anlassersystems, der Gasaufbereitung sowie der Vor- und Nachschmierung vorgenommen werden müssen. Ein Teillastbetrieb ist aufgrund verringerter Wirkungsgrade und erhöhter Emissionen nicht zu empfehlen.

Als letzter Betrachtungspunkt wird die Wärmeversorgung der Biogasanlage und externer Abnehmer näher beleuchtet und auf Möglichkeiten zu dessen Sicherstellung hingewiesen. Zudem findet die verringerte Möglichkeit der Wärmeversorgung externer Abnehmer bei einer flexiblen Stromerzeugung Beachtung.

Abschließend ist festzuhalten, dass die mit einer

flexiblen Verstromung des Biogases verbundenen Anforderungen an die Komponenten der Gasspeicherung, der Gasaufbereitung, der Gasverwertung und der Wärmenutzung mit der verfügbaren Technik bereits erfüllt werden können.

Anlagen mit zusätzlicher installierter Leistung sollten die Möglichkeit nutzen, durch eine Flexibilisierung der Stromerzeugung höhere Einkünfte aus dem Stromverkauf zu generieren. Viele Anlagen sind hierfür technisch bereits ausgerüstet. Abhängig von der Anlagenkonfiguration ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten für die Flexibilisierung im Sinne einer mehr am Bedarf orientierten Stromerzeugung aus Biogas.

Quellenangaben

- ▶ Aschmann, V.; Effenberger, M. und Gronauer, A. (2010): Kohlenwasserstoffverbindungen im Abgas biogasbetriebener Blockheizkraftwerke (BHKW). LANDTECHNIK, 65. Jahrgang, Heft 5.2010, S. 338-341
- ▶ Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Biogashandbuch Bayern, Verfügbar unter: <https://www.lfu.bayern.de/energie/biogashandbuch/index.htm>, Zugriff: 02.06.2022.
- ▶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit (BMUV) (Hrsg.) (2019): Änderung der Bekanntmachung einer sicherheitstechnischen Regel der Kommission für Anlagensicherheit (TRAS 120 „Sicherheitstechnische Anforderungen an Biogasanlagen“). Inoffizielle Lesefassung der TRAS 120, Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUV).
- ▶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUV) (2021): Neufassung der ersten allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft)
- ▶ Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2016): Merkblatt DWA-M 377 - Biogas - Speichersysteme - Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit von Membranabdeckungen. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V..
- ▶ EPEX SPOT (2021): Marktdaten Auktionshandel 25.08.2021
https://www.epexspot.com/en/market-data?market_area=DE-LU&trading_date=2021-08-23&delivery_date=2021-08-24&underlying_year=&modality=Auction&sub_modality=DayAhead&product=60&data_mode=graph&period=, Zugriff: 24.08.2021.
- ▶ Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) (Hrsg.) (2016): Biogasanlagen. VdS 3470 : 2016-03 (01), Köln: VdS Schadenverhütung GmbH.

- ▶ GE Jenbacher (Hrsg.) (2012) Technische Beschreibung BHKW JMS 312 GS-B.L. Jenbach (Austria): GE Jenbacher GmbH & Co OG.
- ▶ Jung, U. und Müller, R. (2008) Teillast oder Takten? BWK Das Energie-Fachmagazin, Ausgabe 6/2008 Seiten 45-47.
- ▶ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.) (2009) Faustzahlen Biogas. 2. Auflage, Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- ▶ RETTENBERGER, G. (2017): Beschreibung des Standes der Technik und der Sicherheitstechnik für Membransysteme von Biogasanlagen. Projektnummer 70452 der Ingenieurgruppe RUK GmbH, Bonn: Hrsg. Geschäftsstelle Kommission für Anlagensicherheit (KAS).
- ▶ Sattler/CenoTec (2012a) Biogasspeicher [WWW] Rudersdorf (Austria): Sattler AG Verfügbar unter: http://www.sattler-ag.com/sattler-web/static/media/pdf/Broschuere_UT_DE.pdf, Zugriff: 26.04.2012.
- ▶ Sattler/CenoTec (2012b) Portfolio DMGS Tankmontierte Gasspeicher, [e-mail] Greven: Ceno Membrane Technology GmbH, Helmut Wiedau vom 10.04.2012
- ▶ Van Basshuysen, R. und Schäfer, F. (2004) Lexikon Motorentchnik. 1. Auflage, Wiesbaden: Vieweg Verlag.
- ▶ ZACHARIAS, F. (2001) Gasmotoren. 1. Auflage, Würzburg: Vogel
- ▶ 2G Energietechnik (2011) Planungsdaten 2G-KWK-190BG/50 Hz. Version 1.3, Heek: 2G Energietechnik GmbH.

Zitiervorlage: Bär, K.; Grösch, N.; Häring, G.; Sonnleitner, M.; Wiedemann, L.; Zörner, W.; Aschmann, V. (2022): Technische Anforderungen an Biogasanlagen für die flexible Stromerzeugung. In: Biogas Forum Bayern bif34, Hrsg. ALB Bayern e.V., <https://www.biogas-forum-bayern.de/bif34>, Stand [Abrufdatum].

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e.V.

Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon: 08161 / 887-0078

Telefax: 08161 / 887-3957

E-Mail: info@alb-bayern.de

Internet: www.alb-bayern.de