

Empfehlungen für die messtechnische Ausstattung landwirtschaftlicher Biogasanlagen



Nr. IV – 7/2012

Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik) im „Biogas Forum Bayern“ von:



Dr. Mathias Effenberger
Volker Aschmann
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung



Cornelius Herb
Agraferm Technologies AG



Dr. Markus Helm
Gutachtergemeinschaft Biogas GmbH



Josef Sebastian Müller
ABB Automation Products GmbH

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Vorbemerkung | 1 |
| 2 | Messtechnische Ausstattung von Biogasanlagen | 1 |
| 3 | Beschreibung einzelner messtechnischer Komponenten | 3 |
| 3.1 | Feststoffeintragvorrichtung..... | 3 |
| 3.2 | Vorgruben | 4 |
| 3.3 | Gärbehälter | 5 |
| 3.4 | Wärmeverteilung..... | 7 |
| 3.5 | Substratverteilung | 8 |
| 3.6 | Gaserfassung..... | 8 |
| 3.7 | BHKW / Gasverwertung | 10 |
| 3.8 | Gärrestlager | 12 |
| 3.9 | Sinnvolle Zusatzausstattung | 12 |
| 4 | Umgang mit Messtechnik und Messwerten | 13 |
| | Quellenangaben | 15 |
| | Glossar | 16 |

1 Vorbemerkung

Keine moderne Biogasanlage kommt gänzlich ohne Messtechnik aus. Über die Frage, mit wie viel und mit welcher Messtechnik die Anlage ausgestattet werden soll, herrscht jedoch nicht immer Einigkeit. Gerade die Betreiber kleinerer Hof-Biogasanlagen scheuen häufig die Zusatzkosten für die messtechnische Ausstattung und haben Zweifel an der Notwendigkeit und Zuverlässigkeit messtechnischer Komponenten. Die vorliegende Schrift soll Planern, Investitionswilligen und Betreibern von Biogasanlagen in der Landwirtschaft eine Hilfestellung für die zweckmäßige Auswahl und Beurteilung von Messtechnik für Biogasanlagen geben. In knapper Form werden die wichtigsten messtechnischen Komponenten beschrieben und auf dem Hintergrund von Expertenwissen und Praxiserfahrungen sowie ausgewählter Literaturquellen bewertet. Die Schrift kann und soll dabei keine erschöpfende Darstellung des Entwicklungsstandes der Messtechnik von Biogasanlagen geben.

2 Messtechnische Ausstattung von Biogasanlagen

Was das Erfordernis von Messtechnik auf der Biogasanlage angeht, so kann man folgende Kategorisierung vornehmen (vgl. Tab. 1):

- messtechnische Einrichtungen, die dem allgemeinen Stand der Technik entsprechen und für die Erfüllung gesetzlicher Vorgaben oder zur Unfallverhütung erforderlich sind: „Muss“;
- messtechnische Einrichtungen, die den Betreiber bei der routinemäßigen Anlagenüberwachung und –steuerung unterstützen und zu einem wirtschaftlichen Betrieb beitragen: „Soll“;
- Messtechnische „Vollausstattung“, die für einen regelrechten Anlagenbetrieb nicht notwendig ist, dem Betreiber aber einen maximalem Bedienkomfort ermöglicht: „Kann“.

Tab. 1: Übersicht über messtechnische Aufgaben an Biogasanlagen und Klassifizierung nach Erfordernis der Messung

| | „Muss“ | „Soll“ | „Kann“ |
|-------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Masse fester Einsatzstoffe | X | | |
| Menge flüssiger Einsatzstoffe ¹ | X | | |
| TM-Gehalt der Einsatzstoffe | | | X |
| Schaumsonde ² | | X | |
| Füllstand Gärbehälter | X | | |
| Überfüllsicherung Gär- und Gärrestlagerbehälter | X | | |
| Temperatur des Gärgemisches | X | | |
| Stromaufnahme Feststoffeintrag | | X | |
| Stromverbrauch Feststoffeintrag | | | X |
| Stromaufnahme Rührwerke | | X | |
| Stromverbrauch Rührwerke | | | X |
| Temperaturüberwachung Rührmotoren | | X | |
| Stromaufnahme Pumpen | | X | |
| Stromverbrauch Pumpen | | | X |
| Betriebsstunden Hauptstromverbraucher | X | | |
| Betriebsstunden BHKW-Notkühler | | | X |
| Gesamtstrombedarf der Anlage | X | | |
| Luftrate für biologische Entschwefelung | X | | |
| Methangehalt im Gasraum des Gärbehälters | | | X |
| Sauerstoffgehalt im Gasraum des Gärbehälters | | | X |
| Schwefelwasserstoffgehalt im Gasraum des Gärbehälters | | | X |
| Methangehalt im Brenngas | X | | |
| Schwefelwasserstoffgehalt im Brenngas | X | | |
| Kohlendioxidgehalt im Brenngas | X | | |
| Wasserstoffgehalt im Brenngas | | | X |
| Biogasmenge / -durchflussrate | | X | |
| Biogastemperatur ³ | | X | |
| Wärmebedarf der Anlage ⁴ | | (X) | (X) |
| Fortwärme über BHKW-Notkühler | | | X |
| Wärmeabsatz | X | | |
| Gasspeicherfüllstand | X | | |
| Auslösevorgänge Überdrucksicherung | | | X |
| Betriebsstunden BHKW | X | | |
| Betriebsstunden Gasfackel | | X | |
| Stromeinspeisung | X | | |

¹ Sofern nicht vom Umweltgutachter plausibilisiert.

² Abhängig von den Einsatzstoffen

³ Sofern nicht im Durchflussmessgerät integriert.

⁴ Nicht erforderlich für kleine, Gülle betonte Anlagen mit eingeschränktem Wärmeüberschuss.

3 Beschreibung einzelner messtechnischer Komponenten

Im vorliegenden Papier wird die messtechnische Ausstattung von Biogasanlagen beginnend beim Substrateintrag bis hin zur Energieabgabe bzw. Gärrestabgabe behandelt (vgl. Abb. 1). Es werden Angaben zur Eignung, Installation, Genauigkeit, Lebensdauer, Wartung und Kalibrierung der entsprechenden Messgeräte gemacht.

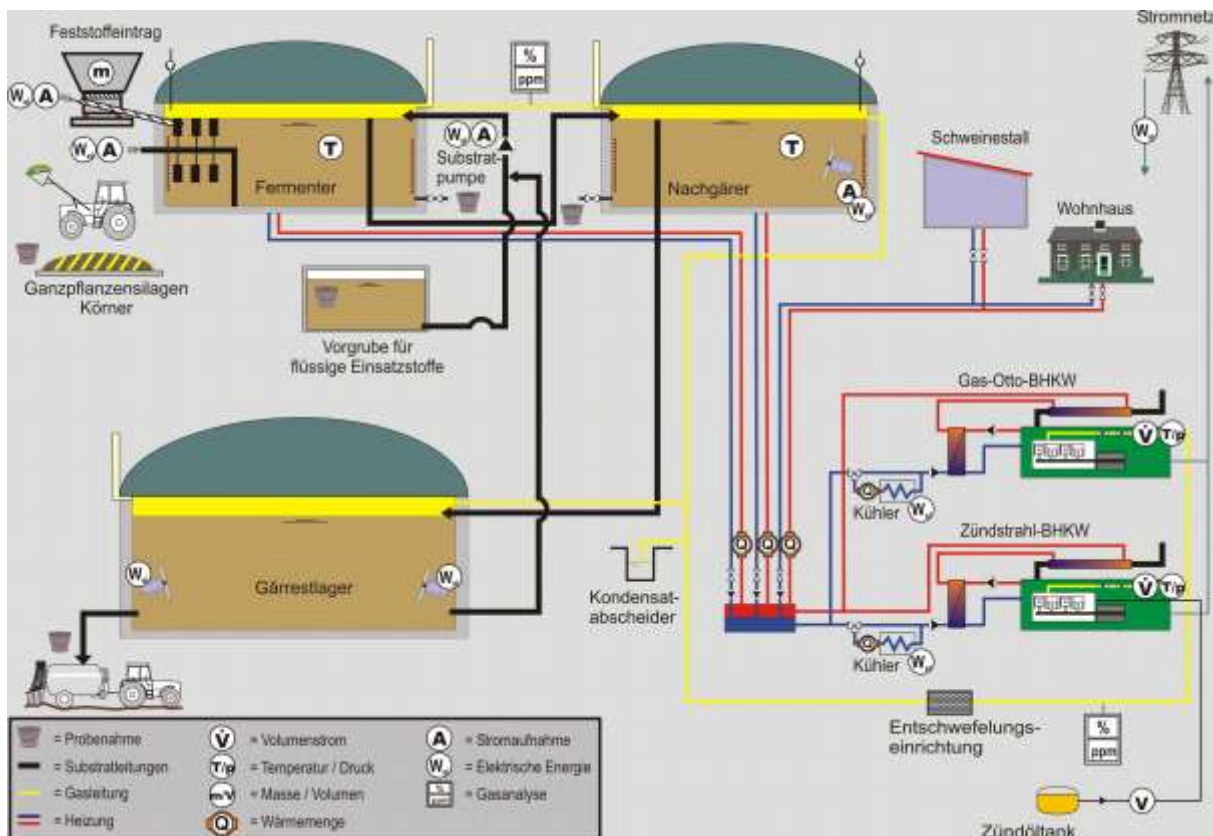


Abb. 1: Exemplarisches Schema einer Biogasanlage mit ausgewiesenen Messpunkten

3.1 Feststoffeintragsvorrichtung

Nahezu alle Biogasanlagen verfügen über ein Feststoffeintragssystem, welches die Tagesration an festen Substraten automatisiert in den Fermenter befördert. Neben dem Vorlagebehälter umfasst der Feststoffeintrag auch die Fördertechnik, welche in der Regel mit Schnecken oder in selteneren Fällen auch Förderbändern oder Mischaggregaten zur Verflüssigung arbeitet.

Um die Raumbelastung der Biogasanlage ausreichend genau zu steuern, sollten die Futtermengen gewogen werden. Zeitgesteuerte Fütterungsdosierung oder Mengenschätzung mittels Radladerschaufeln entsprechen nicht dem Stand der Technik und können unbemerkt zu erheblichen Abweichungen von der angestrebten Raumbelastung führen.

Auf zuverlässige und effiziente Weise erfolgt die Wägung der Einsatzstoffe direkt im Dosierer. Zum Einsatz kommen Wägezellen, welche eine gute Messgenauigkeit erzielen und keine nennenswerten Betriebsprobleme erwarten lassen. Diese Technik ist ausgereift, langlebig und sollte lediglich in zweijährigen Abständen auf Genauigkeit geprüft werden. Die Futtermenge (in kg) wird über eine Differenzmessung des Behälterinhaltes gesteuert, wobei an jedem Behälterfuß eine Wägezelle angebracht ist.

Bei der Montage ist darauf zu achten, dass die am Vorlagebehälter angebrachte Fördertechnik – insbesondere beim Einsatz von Förderschnecken – über eine ausreichende eigene Standfestigkeit verfügt. Andernfalls können das Messergebnis und damit die Fütterungsmenge durch die übertragene Last bei Anlauf und Betrieb der Schnecken merklich beeinflusst werden. Aus diesem Grund ist also auf eine ausreichende mechanische Entkopplung der Fördereinrichtungen zu achten.

Es empfiehlt sich, die Stromaufnahme sämtlicher Antriebe der Förderaggregate (Austrags-, Förder- und Eintragschnecken) zu überwachen. So kann verhindert werden, dass Störstoffe wie Steine oder Holzstücke zum Durchbrennen der Antriebe und damit zu einem Totalausfall der Fütterung führen. Sofern im Vorlagebehälter Mischschnecken zum Einsatz kommen, sollten auch diese überwacht werden.

In der Erprobung befindet sich der Einsatz der Nah-Infrarot-Reflektionsspektroskopie (NIRS) direkt am Feststoffeintragssystem. Mit dieser Technik können einzelne Qualitätsparameter der Einsatzstoffe direkt gemessen und die Fütterung darauf angepasst werden. Mikrowellensensoren zur TS-Analytik sind ein weiteres in Erprobung befindliches Meßverfahren, welches jedoch ebenfalls mit hohen Investitionskosten verbunden ist. Beide Verfahren zeichnen sich grundsätzlich durch niedrige Betriebskosten aus, wobei zur Kalibrierung sehr hohe Aufwendungen auftreten. Derzeit erzielen diese Verfahren jedoch noch nicht für alle Einsatzstofftypen verlässliche Ergebnisse.

3.2 Vorgruben

Gemeint sind hier unbeheizte Vorgruben für die kurzfristige Zwischenlagerung von Gülle oder die Sammlung von belastetem Niederschlagswasser. In diesen nicht gasdichten Gruben sollte im Wesentlichen kein Gärprozess stattfinden. Sie werden in der Regel sehr einfach ausgeführt und werden nur mit Messtechnik zur Füllstandsüberwachung ausgestattet. Grundsätzlich ist es empfehlenswert, die Vorgrube mit einer kontinuierlichen Füllstandsmessung und zusätzlich mit einem Grenzstandwächter auszustatten, um Überfüllung bzw. Leerlauf zu vermeiden. Insbesondere wenn die Grube zur Erfassung von Niederschlagswasser eingesetzt wird, muss diese messtechnische Ausstattung vorgesehen werden.

Für die Füllstandsmessung haben sich in der Praxis hydrostatische (Überdruckmessumformer), Ultraschall- oder Radar-Messsonden bewährt. Im Falle

einer Ultraschall- oder Radarmessung ist darauf zu achten, dass eine Reinigung des Fühlers leicht durchgeführt werden kann. Die einzusetzende Messtechnik für eine genaue Entnahme aus einem Vorlagebehälter ist im Kapitel 3.5 näher erläutert. Für die Grenzstandüberwachung kommen Schalter mit Vibrationstechnik, konduktive oder kapazitive Verfahren in Betracht. Schwimmschalter sind wegen der Gefahr der Blockierung durch Verunreinigungen für Gärgemische und Gärreste weniger empfehlenswert.

3.3 Gärbehälter

Mit der **hydrostatischen Messung** wird das Niveau der Gärsuspension im Behälter mittels Differenzdruckverfahren ermittelt. Da es sich im Biogasbereich in der Regel um mit Druck beaufschlagte Behälter handelt, werden die Flüssigkeitssäule und der Systemdruck im Behälter gemessen. Auf den zweiten Druckmessumformer für die Korrektur des Systemdrucks kann gegebenenfalls verzichtet werden, da Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich in der Regel bei sehr geringen Überdrücken (wenige Millibar) betrieben werden. Die Füllhöhe wird mit der aktuellen Dichte des Mediums korrigiert (System oder im Gerät fix eingestellt). Zu beachten ist die Dimensionierung der Membranfühler: aufgrund der niedrigen Drücke empfiehlt sich die Größe DN 80; DN 50 sollte nicht unter 400 mbar eingesetzt werden.

Anbackungen und Verschmutzungen sind in der Gärsuspension nicht zu vermeiden. Für eine einfache Reinigung der Druckfühler bieten sich daher Spülringe an. Die Kapillarleitung und die Membranfühler sollten mit einem temperaturstabilen Silikonöl gefüllt sein. Bei Anwendungen im Freien sollte Schutzklasse IP 67 eingehalten werden. Diese Technik wird bei den meisten Biogasanlagen eingesetzt und erzeugt im Normalbetrieb gute Ergebnisse. Ungenauigkeiten können bei dieser Messtechnik durch die schwankende Dichte des Materials auftreten. Z.B. im Falle einer Schaumbildung oder bei stark aufschwimmenden Substraten können daraus fehlerhafte Ergebnisse resultieren. Der Einbau eines weiteren Drucksensors in der Mitte des Behälters ermöglicht die Bestimmung der Dichte. Besonders bei hohen Fermentern und/oder hohen TS-Gehalten kann das Ergebnis dieser Messtechnik verbessert werden, da durch den Einbau eines weiteren Messfühlers neben der Dichtebestimmung auch die Ergebnisse der anderen Fühler geprüft werden kann.

Die Anwendung einer **Lasermessung** ist grundsätzlich möglich. Das Material ist beständig gegenüber Methan, kann aber nur in ExSchutz-Zone 2 bzw. 21/22 eingesetzt werden. Der Laser kann sehr genau ausgerichtet und mit einem Druckluftanschluss zur Reinigung der Linse ausgestattet werden. Die Inbetriebnahme gestaltet sich einfach, da keine Störechos zu berücksichtigen sind. Auf Grund der Kondensatbildung ist die Lasermessung in feuchter Atmosphäre allerdings weniger geeignet.

Von einer **Ultraschall**-Füllstandsmessung in geschlossenen Behältern ist abzuraten, wenn höhere Drücke oder Gasschichtung auftreten, da die Schallwellen in

unterschiedlichen Gasen ihre Geschwindigkeit ändern. Darüber hinaus ist mit einer Verschmutzung des Messkopfes zu rechnen.

Ein alternatives Verfahren ist das **Radar**, das geführt oder ungeführt zum Einsatz kommen kann. Das geführte Radar hat den Nachteil, dass sich Feststoffe an der Radarführung absetzen können oder die Führungseinrichtung bei großer Bewegung im Behälter beschädigt werden kann. Beim frei strahlenden Radar kann Schaum zu Fehlanzeigen führen.

Als Einbauort für die **Schaum- und Überfüllsonden** bietet sich der Platz direkt unter der Biogasleitung an. Bei Schaumsonden werden überwiegend kapazitive oder potentiometrische Sensoren eingesetzt. Insbesondere potentiometrische Sensoren sind anfällig für Verschmutzung, so dass diese regelmäßig gereinigt werden müssen. Im Unterschied zur Füllstandsmessung senden diese Sensoren ein binäres Signal (I/O), welches im Falle einer Überfüllung / Schaumbildung direkte Gegenmaßnahmen auslösen soll.

Für die **Temperaturmessung** sind grundsätzlich zwei Messverfahren zu benennen: Widerstandsthermometer (z.B. Pt 100) sowie Thermoelemente. Für Biogasanlagen ist die Verwendung von Widerstandsthermometern vorzuziehen. Aufgrund der Weitläufigkeit solcher Anlagen ist eine Anbindung des Temperaturfühlers mit 2-Leiter Technik nicht zu empfehlen. Bei direkten Messungen mit Leitungslängen von mehr als 10 m sollte auf 3-Leiter- bzw. besser 4-Leitertechnik zurückgegriffen werden. Optimal ist die Benutzung eines Kopfmessumformers, der die gemessene Temperatur direkt in ein normiertes Stromsignal umwandelt.

Im Gärgemisch erfolgt die Temperaturmessung über eine Tauchhülse. Der Messeinsatz sollte dabei problemlos ausgetauscht werden können, bei wichtigen Messstellen ist ein Display zur direkten Anzeige von Vorteil. Aufgrund der relativ trägen Prozesse ist mehr auf Stabilität als auf Geschwindigkeit des Messsignals zu achten.

Die Temperatur im Gärgemisch kann auch ohne Tauchhülse mit einem (vibrationsfesten) Mantelfühler gemessen werden. Dieser ist gänzlich aus Metall und wird mittels einer Verschraubung gegen die Atmosphäre abgedichtet. Der Übergang auf das passende Kabel liegt außerhalb des Gärbehälters.

Beim Einbau der Fühler ist besonderer Wert darauf zu legen, dass der Einbauort nicht in der Nähe von Heizelementen oder von Substrateintragsrohren liegt. Falsche Messergebnisse sind in der Regel auf einen ungünstigen Einbauort zurückzuführen. Aus Plausibilitätsgründen wird in jedem Fall der Einbau von mindestens zwei Temperaturfühlern in unterschiedlichen Höhen und mit möglichst großem Abstand empfohlen, da innerhalb der Gärbehälter durch die Strömungsverhältnisse sehr oft Regionen mit unterschiedlichen Temperaturniveaus auftreten. Zur Kontrolle kann ein

Temperaturfühler in die Substratleitung eingebaut werden, welcher in der Regel verlässliche Ergebnisse liefert.

Bei mit Frequenzumformer (FU) geregelten Antrieben ändert sich die Spannung mit der Frequenz und daher sollte die Wirkleistung über den FU ausgelesen und überprüft werden. Bei direkt angetriebenen Rührwerken ist es ausreichend, die **Stromaufnahme** zu erfassen.

Auf eine Besonderheit ist beim Einsatz von Tauchmotorrührwerken zu achten. Aufgrund des Einsatzes in warmen Medien bzw. im Fermenter muss der Tauchmotor auf Temperatur überwacht werden. Bei fehlender **Temperaturüberwachung** kann unbemerkt eine Überhitzung des Rührwerksmotors auftreten, die zwangsläufig zu einem Totalschaden führt. Vom Einsatz nicht temperaturüberwachter Tauchmotorrührwerke ist daher dringend abzuraten.

3.4 Wärmeverteilung

Wärmemengenzähler bestehen aus einem Durchflussgeber, gepaarten Temperaturfühlern für Vorlauf und Rücklauf sowie einem Rechenwerk. Sollen Abrechnungsmessungen vorgenommen werden, müssen die Geräte von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) bzw. der Internationalen Organisation für das gesetzliche Messwesen (OIML) für die Wärmemengenzählung freigegeben und zugelassen sein. Eine Nachkalibrierung der Geräte ist nach der Eichzeit zwingend erforderlich.

Stand der Technik bei den Durchflussgebern ist der Einsatz der Ultraschallmessung oder eines Flügelradzählers. Für den Einbau der jeweiligen Messeinrichtung ist unbedingt die Einbauanweisung zu beachten. Der Einbau ist in senkrechten (aufsteigend) oder waagrechten Leitungen (1...3 % Steigung) möglich. Schnittstellen sind 4...20 mA bzw. Impulsausgang. Sollen die Geräte in ein Prozessleitsystem einbezogen werden, ist eine Versorgung mit Hilfsenergie sinnvoll. Für reine Abrechnungsgeräte ist Batteriebetrieb ausreichend.

Bei geeichten Messungen ist zu beachten das die Temperaturfühler speziell aufeinander abgestimmt sind (gepaart: blau="kalt", rot="warm"). Die Eintauchtiefe der Fühler sollte den fünffachen Durchmesser der Tauchhülse nicht unterschreiten und immer bis Rohrleitungsmittle reichen. Werden erhöhte Anforderungen an die Messgeschwindigkeit gestellt, ist ein Einbau im 45° Winkel gegen die Strömung oder der Einbau im Krümmer optimal.

Fehlende Ein- und Auslaufstrecken, falsche Tauchhülsen bzw. falsche Einbausituationen der Temperaturfühler machen eine geeichte Messstelle ungültig. Dies gilt auch für das Kürzen oder Verlängern der Temperaturfühlerleitungen.

3.5 Substratverteilung

Die in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zur Verwertung kommenden flüssigen Einsatzstoffe enthalten meist klumpige oder faserige Feststoffe. Daher ist für die **Durchflussmessung** ein Verfahren mit freiem Durchgang zu wählen. Mechanische Durchflussmesser scheiden aus diesem Grund aus.

Am Besten geeignet ist hier der Magnetisch-Induktive Durchflussmesser (MID). Für die Auskleidung des Messrohres hat sich PTFE bewährt. Die Elektroden sind aus Edelstahl oder Hastelloy zu wählen. Aufgrund der überwiegenden Verrohrung in Kunststoff sollte eine integrierte Erdungselektrode ausgewählt werden, Erdungsscheiben sind ebenfalls möglich. Für Gülle und Gärgemische ist das Wechselfeldsystem vorzuziehen, während das kostengünstigere Gleichfeldsystem nur für homogene Medien mit einem Feststoffanteil von unter 8 % empfehlenswert ist. Der Druckabfall ist beim MID zu vernachlässigen (Auslegung wie Rohrleitung, mittlere Strömungsgeschwindigkeit: 0,5...1,5 m/s). Bei den meisten Biogasanlagen werden teilweise deutlich niedrigere Strömungsgeschwindigkeiten als die empfohlenen Werte erreicht, da die hohe Viskosität und der teilweise hohe Trockenmassegehalt der Gärsuspension größere Leitungsquerschnitte erfordern.

Die Energieversorgung der Geräte erfolgt bei 24 V oder 230 V, die Signale sind 4...20 mA für die Durchflussmessung sowie ein Impulsausgang zur Zählung. Die Geräte können in senkrechte (Durchströmung von unten nach oben) oder waagrechte Leitungen (1...3 % Steigung) eingebaut werden, Lufteinschlüsse in den Leitungen und im Gerät müssen vermieden werden. Zur Strömungsberuhigung ist eine Einlaufstrecke von 3...5 x Nenndurchmesser (DN) und eine Auslaufstrecke von 2...3 x DN einzuhalten.

Ultraschall-Durchflussmesser („Inline“ oder „Clamp On“) sind auf Grund des Feststoffgehaltes und der Gasblasenbildung störanfällig. Coriolis-Massemesser erzeugen einen zu hohen Druckabfall und sind für diese Anwendung zu teuer.

Zur **Drucküberwachung** in Substratleitungen sollte bei jeder Pumpe und insbesondere zwischen zwei in Reihe befindlichen Schiebern ein Drucksensor installiert werden, da durch die Gasbildung erhebliche Drücke entstehen können, die zu einem Bersten von Substratleitungen führen können. Üblicherweise werden hier Überdrucksensoren eingebaut. Eine Überwachung von Pumpen ist grundsätzlich ebenfalls empfehlenswert, da aufgrund von falschen Schiebereinstellungen oder Verstopfungen eine Zerstörung von Pumpen eintreten kann. Allerdings kann dies nicht bei allen Pumpentypen überwacht werden, daher ist es empfehlenswert den Hersteller zu den jeweiligen Möglichkeiten zu befragen.

3.6 Gaserfassung

Die Zusammensetzung des entstandenen Biogases kann an verschiedenen Orten an der Anlage gemessen werden. Die Analyse der Brenngaszusammensetzung

unmittelbar vor dem BHKW dient der Kontrolle der ausreichenden Entschwefelung des Biogases und der Verbrennungseigenschaften. Die Kenntnis der Biogaszusammensetzung in den Gärbehältern erlaubt eine bessere Kontrolle des Fermentationsprozesses und kann wertvolle Dienste bei der Anlagensteuerung leisten. Wird das Gas im Messgerät vor der Analyse gekühlt, um Feuchtigkeit auszukondensieren, ist die Messung besser reproduzierbar. Allerdings lässt sich mit dem so gewonnenen Messwert nicht direkt der Methanertrag ermitteln, da im Gasdurchflussmesser der feuchte Gasstrom gemessen wird. Alternativ kann die Gasanalyse und -durchflussmessung unterstromig einer aktiven Gaskühlung erfolgen.

Je nach Anspruch und Investitionsbereitschaft können verschiedene Systeme zur Gasanalyse zum Einsatz kommen. Die einfachste Variante sind Reaktionsröhrchen („Dräger-Röhrchen“), mit denen die ungefähre Konzentration einzelner Gaskomponenten bestimmt werden kann. Hierzu wird ein definiertes Gasvolumen durch ein Glasröhrchen gepumpt. Entsprechend müssen im Gasleitungssystem geeignete Entnahmestellen für das Biogas vorgesehen werden. Das im Glasröhrchen enthaltene Trägermedium reagiert mit dem im Biogas befindlichen Bestandteil in einer Farbreaktion und die vorhandene Konzentration kann an einer Skalierung des Röhrchens abgelesen werden. In der Praxis wird dieses Messprinzip häufig zur Kontrolle der Schwefelwasserstoffkonzentration im Biogas angewandt.

Für die manuelle Bestimmung mehrerer Gaskomponenten sind von verschiedenen Herstellern Handmessgeräte verfügbar. Für die automatische Erfassung und Kontrolle mehrerer Gaskomponenten an ggf. mehreren Messstellen werden stationäre Biogasanalysatoren angeboten. Diese Geräte können üblicherweise Methan (CH_4), Kohlendioxid (CO_2), Sauerstoff (O_2) und Schwefelwasserstoff (H_2S), optional auch Wasserstoff (H_2) messen. Das am häufigsten verwendete Verfahren für CH_4 und CO_2 ist die Infrarot (IR)-Technik, seltener kommen Wärmeleitfähigkeitssensoren zum Einsatz. Nachteil der Wärmeleitfähigkeitsmessung ist die Querempfindlichkeit, weshalb für eine zuverlässige Messung des Sauerstoffgehaltes ein separater Sensor verwendet werden sollte. O_2 , H_2S und H_2 werden elektrochemisch bestimmt, O_2 auch paramagnetisch. Die Genauigkeit dieser Geräte liegt für Methan, Kohlendioxid und Sauerstoff ungefähr bei $\pm 2\%$ vom Messbereichsendwert (MBE), für Wasserstoff bei etwa $\pm 3\%$ vom MBE und für Schwefelwasserstoff bei ca. 10% vom Messwert. Alle Sensoren unterliegen einer Veränderung (Drift), weshalb diese mindestens jährlich, besser halbjährlich kalibriert werden sollten. Elektrochemische Sensoren werden zudem langsam „verbraucht“, die Standzeit ist abhängig von der Häufigkeit der Messungen.

Für die kontinuierliche Biogasanalyse mit hoher Genauigkeit und Stabilität der Messwerte sind Geräte nach Industriestandard verfügbar. Diese liegen preislich allerdings um einen Faktor 3 bis 5 höher als die oben beschriebenen stationären Gasanalysatoren und der Einsatz wird auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen in den

seltensten Fällen gerechtfertigt sein. Für die eichfähige Analyse und Überwachung der Gaszusammensetzung bei der Gasaufbereitung des Biogases für die Einspeisung ins Erdgasnetz werden Gaschromatographen (GC) eingesetzt.

Zur Bestimmung des **Füllstandes im Gasspeicher** werden verschiedene Verfahren angewendet. Ein relativ genaues Verfahren ist die Ultraschallmessung, welche oft in Tragluft- und Foliendächern zum Einsatz kommt. Bei Schaumbildung im Fermenter können hier allerdings Fehlmessungen verursacht werden. Ein einfaches, aber weniger genaues Verfahren stellt die optische Messung mittels Riemen oder Bändern da, die oft bei Folienspeichern angewendet wird. Hierbei wird je nach Füllstand der Gashaube ein Band bzw. Riemen mehr oder weniger stark gespannt. Der Füllstand kann dann an einer Skala abgelesen werden. Auch Drucksensoren werden bei der Füllstandsmessung im Gasspeicher angewendet. Allgemein kann man zu allen verwendeten Verfahren sagen, dass die Genauigkeit unterhalb eines Gasspeicherfüllstandes von 50 % stark abnimmt, da dann unkontrollierbare Verformungen Gasblase auftreten. Die Gastemperatur wird in der Regel über PT100- bzw. PT1000-Fühler in der Gasleitung gemessen.

Grundsätzlich sind im Anlagenbereich drei Arten von **Druckmessungen** im Einsatz: Überdruckmessung, Absolutdruckmessung und Differenzdruckmessung. Die Absolutdruckmessung bezieht sich immer auf einen Fixpunkt und ist durch den Umgebungsdruck nicht beeinflusst. Die Messung beginnt in der Regel bei 0 bar. Die Überdruckmessung richtet sich immer nach dem Umgebungsdruck. Hier ist der atmosphärische Druck der Bezugspunkt. Diese Messung wird in der Regel in den meisten Anlagen zur Ermittlung des Prozessdruckes eingesetzt. Die Differenzdruckmessung misst den Unterschied zwischen zwei Druckniveaus. Mit diesen Verfahren lassen sich Füllstände und Filterdrücke überwachen.

Überdruckmessumformer für alle Betriebsmessungen. Verrechnungsmessungen bzw. hochgenaue Gasdurchflussmessungen mit Druck- und Temperaturkompensation benötigen einen Absolutdruckaufnehmer. Der Prozessanschluss ist hier in der Regel ein G ½ Manometeranschluss.

3.7 BHKW / Gasverwertung

Für die Messung der Biogasrate und die Bestimmung der produzierten Biogasmenge ist grundsätzlich zwischen zwei Messverfahren zu unterscheiden: volumetrisches Messverfahren und Massestrommessung. Bei der **volumetrischen Messung** wird der tatsächliche Volumenstrom in m³/h gemessen (Betriebsvolumenstrom). Dieser Betriebsvolumenstrom muss für die Auswertung auf Normbedingungen umgerechnet werden (in der Regel 0 °C und 1013 mbar Absolutdruck).

Der wahrscheinlich am häufigsten eingesetzte Volumenstrommesser für Biogas ist der sogenannte Vortex, bei dem das Prinzip der Karmanschen Wirbelstraße Anwendung findet. Die Messung des Biogaszufusses zum Motor erfolgt in der Regel

zwischen dem Druckerhöhungsgebläse und der Reduzierung. Aufgrund der dort bekannten Druckverhältnisse ist eine Kompensation von Druckschwankungen nicht unbedingt erforderlich und es kann ein Festwert für den Gasdruck in der Leitung hinterlegt werden. Eine Temperaturkompensation ist allerdings notwendig und kann im Gerät integriert werden. Der gemessene Volumenstrom kann dann direkt in Normkubikmeter ausgegeben werden.

Aufgrund der Druckverluste im Gerät ist nur eine Auslegung auf die unteren 50% des Messbereiches sinnvoll (Druckverlust ca. 4...15 mbar). Für Nachrüstungen bzw. bei erschwerten Einbaubedingungen kann der Dralldurchflussmesser verwendet werden. Dieser kommt mit einer Einlaufstrecke von ca. 5 x DN aus, während beim Vortex minimal 15 x DN im Einlauf und 5 x DN im Auslauf einzuhalten sind. Bei Störungen im Einlauf (Bögen, Temperaturfühler, Regelventil etc.) verlängert sich die erforderliche Einlaufstrecke auf bis zu 50 x DN. Typische Auslegungswerte für den Vortex- bzw. Drall-Durchflussmesser zeigt Tabelle 1. Im Grenzfall ist es sinnvoll, die Nennweite um eine Stufe größer zu wählen, um den Druckverlust einzuschränken.

Tabelle 1: Typische Auslegung eines Vortex-Durchflussmessers für Biogasmotoren

| Generatorleistung P_{el} (kW_{el}) | Nennweite des Durchflussmessers (DN) |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| ≤ 40 | 15 |
| $40 < P_{el} \leq 120$ | 25 |
| $120 < P_{el} \leq 250$ | 40 |
| $250 < P_{el} \leq 350$ | 50 |
| $350 < P_{el} \leq 500$ | 65 |
| $500 < P_{el} \leq 800$ | 80 |
| $800 < P_{el} \leq 1.500$ | 100 |

Bei der **thermischen Massestrommessung** wird direkt der Massestrom des Gases erfasst, eine Temperatur- und Druckkompensation ist damit nicht nötig. Entsprechend der Kalibrierwerte für die Gaszusammensetzung gibt das Gerät auch den Volumenstrom unter Normbedingungen aus. Die durch das Messgerät erzeugten Druckabfälle sind zu vernachlässigen. Der Einsatz solcher Messgeräte ist nur im sauberen Bereich und für optimal aufbereitetes Biogas zu empfehlen, da Kondensation und Ablagerungen sowie Schwankungen in der Biogaszusammensetzung den Messwert verfälschen. Die erforderlichen Ein- und Auslaufstrecken sind identisch zum Vortex.

Die **Wirkdruckmessung** mit Hilfe von Blenden, Sonden oder Venturikanal ist in Biogassystemen im Allgemeinen durch den niedrigen Systemdruck limitiert, d.h. die

Mediumsgeschwindigkeiten im Rohrleitungssystem und somit die resultierenden Wirkdrücke sind für dieses Messprinzip häufig zu gering. Hinzu kommen Störeinflüsse wie hohe Feuchte (Wasserdampfsättigung) und Kondensation. Der Einsatz solcher Messgeräte ist für diese Anwendung daher kritisch zu sehen. Die erforderlichen Ein- und Auslaufstrecken sind nahezu identisch zum Vortex.

Schwebekörpermessgeräte sind vom Prinzip her sehr einfache Durchflussmesser. Ein definierter Körper wird durch den Volumenstrom in Schwebelage gehalten und zeigt direkt an einer kalibrierten Skala den Durchfluss an. Die Skala wird in der Regel auf Normzustand gerechnet und das Gerät wird immer auf den Arbeitspunkt ausgelegt. Optional kann der Durchfluss elektronisch über ein 4...20 mA-Signal ausgegeben werden bzw. eine MIN-/MAX-Wert-Meldung erfolgen. Die beiden Hauptformen sind Glaskonus-Schwebekörper und Metallkonus-Schwebekörper.

Für alle Typen von Durchflussmessern gilt: Um eine zuverlässige Messung zu gewährleisten, sind unbedingt die Einbauvorschriften des Herstellers zu beachten!

Die für die biologische Entschwefelung des Biogases erforderliche Lufteinblasung in den Fermenter werden üblicherweise Aquariumpumpen bei kleinen Luftmengen und ansonsten Kompressoren verwendet. Die für die Entschwefelung nötige Luftrate von 2 – 5 % des erzeugten Biogases wird mit Hilfe des oben genannten Schwebekörper-Durchflussmessers eingestellt.

Die Kontrolle und messtechnische Überwachung des BHKW stellt eine sehr komplexe und technisch aufwändige Aufgabe dar, die nur vom BHKW-Hersteller vorgenommen werden sollte. Die BHKW-Steuerung wird in der Regel vom BHKW-Hersteller mitgeliefert und ist dem BHKW und den Erfordernissen auf der jeweiligen Anlage angepasst.

3.8 Gärrestlager

Die Messtechnik im Gärrestlager unterscheidet sich nur geringfügig von der Ausstattung eines Fermenters. Die Temperaturmessung kann entfallen, alle weiteren Ausstattungsmerkmale wie Füllstandsmessung, Überfüllsicherung, Schaumsonden sollten vorhanden sein. Aufgrund des schwankenden Füllstandes ist bei der Füllstandsmessung darauf zu achten, dass hydrostatische Messgeräte in Bodennähe angebracht ist, damit auch kurz vor vollständiger Entleerung noch plausible Messwerte angezeigt werden. Bei der Füllstandsmessung kommen die gleichen Messmethoden zum Einsatz wie im Fermenter.

3.9 Sinnvolle Zusatzausstattung

Um grundlegende Parameter für die Prozesskontrolle selbst bestimmen zu können, empfiehlt sich die Einrichtung eines kleinen „**Biogaslabor**“ vor Ort. Die Grundausstattung kann aus einem pH-Messgerät („pH-Meter“), einer Titrationsapparatur („Bürette“) und ggf. einer Einrichtung zur Bestimmung des

Trockenmassegehaltes in flüssigen und festen Proben bestehen. Nähere Hinweise hierzu finden Sie in den folgenden Fachinformationen des Biogas Forum Bayern: [Motivation, Voraussetzungen und Methoden für die Prozessüberwachung](#) sowie [Schlüsselparameter zur Kontrolle des Gärprozesses – Laboranalytik](#).

Neben der oben beschriebenen fest installierten Messtechnik sollte zudem im Rahmen der persönlichen Schutzausrüstung ein **mobiles Gaswarngerät** für Kontroll- und Wartungsarbeiten auf der Anlage vorgehalten werden.

4 Umgang mit Messtechnik und Messwerten

Die Erfassung von Messwerten soll dem Betreiber Informationen über den Zustand seiner Anlage liefern mit dem Ziel, diese technisch und biologisch optimal und damit auch profitabel zu betreiben. Daneben dienen die Messdaten auch der sicherheitstechnischen Überwachung und der Dokumentation z.B. hinsichtlich der Einhaltung gesetzlicher Vorgaben.

Idealerweise wird der Betreiber während der Phase der Inbetriebnahme der Biogasanlage vom Planer oder Hersteller in den Betrieb seiner Anlage und die Interpretation der Messwerte eingearbeitet. Wichtig ist es dabei, ein Gefühl für die Dynamik des Biogasprozesses und das Verhalten der Biogasanlage zu entwickeln.

Dazu ist es zunächst erforderlich, die Veränderung der Anzeigewerte in Abhängigkeit des Betriebs der Anlage zu beobachten. Als Beispiel kann die Veränderung des Methananteils im Biogas in Abhängigkeit wechselnder Substratzufuhr genannt werden. Der Betreiber muss kritische Bereiche oder Entwicklungen von normalen täglichen Schwankungen unterscheiden können, um zu wissen, zu welchem Zeitpunkt und in welcher Intensität Abhilfemaßnahmen einzuleiten sind.

Treten ungewöhnliche Messwerte auf, ist auch zu prüfen, ob die Werte plausibel sind oder z.B. durch fehlerhafte, verschmutzte oder an ungeeigneter Stelle installierte Sensoren hervorgerufen werden. Niedrige gemessene Methankonzentrationen können z.B. auf ernsthafte biologische Probleme (einsetzende Versäuerung) hinweisen, in vielen Fällen werden sie aber durch eine Drift der Messzellen verursacht. Zur Plausibilitätsprüfung kann in diesem Fall ein Vergleich der Methan- mit der CO₂-Konzentration helfen: Sinkende Methankonzentration bei gleichzeitig steigender CO₂-Konzentration weist auf biologische Probleme hin. Eine sinkende Methankonzentration bei gleichzeitig konstanter CO₂-Konzentration ist ein Hinweis auf eine möglicherweise fehlerhafte Methanmessung.

Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass die Sensoren der Messgeräte so installiert werden, dass sie repräsentative Werte liefern können. Beispielsweise ist vor Volumenstrommessgeräten in Rohrleitungen eine vom Hersteller des Messgeräts vorgegebene Beruhigungsstrecke vorzusehen und Sensoren sind regelmäßig zu

reinigen und zu kalibrieren. Die Kalibrierungs- und Reinigungsmaßnahmen sollten dokumentiert werden.

Bei Anlagen mit mehreren Fermentern kann es sinnvoll sein, die Gasanalyse so einzurichten, dass die Methankonzentration in den einzelnen Gasräumen gemessen werden kann. Für die Erfassung wichtiger Messgrößen wie der Temperaturen und der Füllstände in den Behältern sowie sicherheitsrelevanter Größen sollten die Sensoren redundant ausgeführt werden, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Dabei ist am Ende nicht die Fülle der Messwerte sondern die zuverlässige Überwachung der wichtigsten Parameter entscheidend. Außerdem sollten nur Messwerte erfasst werden, die auch eindeutig interpretiert werden können. Für die H₂-Messung im Biogas ist dies beispielsweise nicht immer gewährleistet.

Nicht erforderlich ist zudem eine Online-pH-Messung in den Fermentern, da sich der pH-Wert aufgrund der chemischen Pufferkapazität bei beginnender Versäuerung zunächst nur sehr langsam ändert. Schnelle Informationen zu aufkommenden biologischen Problemen, ohne dass Gärgemischproben im Labor untersucht wurden, bietet eine gut funktionierende Gasanalyse.

Quellenangaben

Brandau, E.: Möglichkeiten der Gasanalyse in der Biogastechnik. Biogas-Infoboard, 07.06.2006 [<http://biogas-infoboard.de/pdf/Artikel%20Gasmessung%20in%20der%20Biogasproduktion.pdf>]
Zugriff: 27.03.2012 08:03

Glossar

Fermenter; mit Substrat, Gärgemisch, Rezirkulat oder Gär-Hilfsstoffen beschickter Behälter, in dem ein biologischer Abbau stattfindet. Synonym: Reaktor oder Gärbehälter (wobei nur der Hauptgärbehälter und der Nachgärbehälter als eigentliche Gärbehälter gelten). In der Praxis werden die Begriffe Fermenter und Hauptgärbehälter synonym verwendet, der Nachgärbehälter wird hingegen nicht als Fermenter bezeichnet.

Gärgemisch; im Fermenter befindliches Substrat einschließlich Gärhilfsstoffen und Rezirkulat in Mischung mit bakterieller Biomasse. Das G. besteht aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen.

Nutzvolumen Fermenter; das Volumen, welches von einem Gärbehälter aus baulichen und technischen Gründen maximal aufgenommen werden kann. Es entspricht damit der technisch maximal erlaubten oder möglichen Füllmenge. Synonym: Nettovolumen Fermenter. Einheit: Kubikmeter [m³].

Vorgrube; dient zur Mischung und zum Eintrag von Substrat in einen Gärbehälter, kann aber zusätzlich auch für die kurzfristige Lagerung von Substrat (vor Eintrag in den Gärbehälter) genutzt werden. Eine V. hat maximal das Fassungsvermögen eines kleinen Mehrfachen der täglichen Eintragsmenge. Die V. ist strikt vom Vorgärbehälter zu unterscheiden, in dem erste Abbauprozesse des Substrates (Hydrolyse) stattfinden.

Zitiervorlage:

Effenberger, M. , V. Aschmann, C. Herb, M. Helm und J.S. Müller (2012): **Empfehlungen für die messtechnische Ausstattung landwirtschaftlicher Biogasanlagen**. In: Biogas Forum Bayern Nr. IV – 07/2012, Hrsg. ALB Bayern e.V.,

<http://www.biogas-forum-bayern.de/media/files/0002/Empfehlungen-Messtechnik.pdf>

Stand [Abrufdatum].

Das „Biogas Forum Bayern“ ist eine Informationsplattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern.

Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik)

Hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Sicherheit
- Emissionen
- Funktion
- System/Standort

Ständige Mitglieder der Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik)

- ABB Automation Products GmbH
- Agrafarm Technologies AG
- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Biogasanlagenbetreiber
- Fachverband Biogas e.V.
- Gutachtergemeinschaft Biogas GmbH
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung
- Land- und forstwirtschaftliche Sozialversicherungsträger Franken und Oberbayern
- Landratsamt Neuburg-Schrobenhausen
- Regierung von Oberbayern, Gewerbeaufsichtsamt
- SCHNELL Motoren AG
- UGN Umwelttechnik GmbH



Herausgeber:

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik
und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
Vöttinger Straße 36
85354 Freising
Telefon: 08161/71-3460
Telefax: 08161/71-5307
Internet: <http://www.biogas-forum-bayern.de>
E-Mail: info@biogas-forum-bayern.de