

Empfehlungen für die messtechnische Ausstattung landwirtschaftlicher Biogasanlagen



Nr. IV – 7/2021

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



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



Cornelius Herb
RegPower GmbH



Dr. Markus Helm
Gutachtergemeinschaft Biogas GmbH



Josef Sebastian Müller
ABB Automation Products GmbH



Manuel Maciejczyk
Fachverband Biogas e.V.



Thomas Krodel
Regierung von Oberfranken

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1 Vorbemerkung	1
2 Messtechnische Ausstattung von Biogasanlagen	1
3 Beschreibung einzelner messtechnischer Komponenten	4
3.1 Feststoffeintragsvorrichtung	4
3.2 Behälter	5
3.2.1 Vorgruben	6
3.2.2 Gärbehälter	6
3.3. Wärmeverteilung	8
3.4 Substratverteilung	9
3.5 Gaserfassung	10
3.5.1 Biogaszusammensetzung	10
3.5.2 Gasspeicher (Gasvorrat, Überwachung, Gastemperatur, Gasdruck)....	11
3.6 BHKW und Gasverwertung	12
3.7 Gärrestlager	13
3.8 Sinnvolle Zusatzausstattung	13
4 Umgang mit Messtechnik und Messwerten	14
Quellenangaben	15
Glossar	15

1 Vorbemerkung

Keine moderne Biogasanlage kommt heutzutage 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 bzw. rechtlich notwendige 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 (Baurecht oder Immissionsschutzrecht) oder zur Unfallverhütung sowie zur Verhütung von Umweltschäden und Havarien erforderlich sind: „Muss“;
- messtechnische Einrichtungen, die den Betreiber bei der routinemäßigen Anlagenüberwachung und –steuerung unterstützen, die Betriebssicherheit durch einen hohen Informationsgrad gewährleisten und zu einem wirtschaftlichen Betrieb beitragen: „Soll“;
- messtechnische „Vollausstattung“, die für einen regelgerechten Anlagenbetrieb nicht Voraussetzung ist, aber dem Betreiber einen maximalen Informationsstand bei höchster Betriebssicherheit gewährleistet und dabei einen hohen Bedienkomfort ermöglicht: „Kann“.

Vom Stand der Technik (BImSchG) bzw. dem Stand der Sicherheitstechnik (12. BImSchV) z.B. in der TRAS 120 kann im Einzelfall abgewichen werden, wenn eine Nachrüstung aus technischen Gründen nicht möglich bzw. unverhältnismäßig ist. Dies ist durch ein Sachverständigengutachten (z.B. Sachverständiger gem. §29b BImSchG) nachzuweisen. Die zuständige Behörde entscheidet darüber, ob eine Unverhältnismäßigkeit der Anforderungen vorliegt.

Tab. 1: Übersicht über messtechnische Aufgaben an Biogasanlagen und Klassifizierung nach Erfordernis der Messung; die unterschiedlichen Markierungen beziehen sich auf die genehmigungsrechtliche Einstufung der Anlage: O = BImSchG; ▲ = Baurecht; X = BImSchG und Baurecht.

	„Muss“	„Soll“	„Kann“
Masse fester Einsatzstoffe	X		
Menge flüssiger Einsatzstoffe ¹	X		
TM-Gehalt der Einsatzstoffe			X
Gaswarneinrichtung Substratannahmehalle ²	X		
Schaumwächter ³	O	▲	
Füllstand Substrat Gärbehälter ⁴	O	▲	
Füllstand Gasspeicher ⁵	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 ⁶	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 ⁷	O	▲	
Kohlendioxidgehalt im Brenngas		X	
Wasserstoffgehalt im Brenngas			X
Biogasmenge / -durchflussrate		X	
Biogastemperatur ⁸		X	
Wärmebedarf der Anlage ⁹		(X)	(X)

¹ Sofern nicht vom Umweltgutachter plausibilisiert;

² abhängig von den Einsatzstoffen gem. TRAS 120 (Kap. 2.7);

³ gem. TRAS 120 (Kap. 3.3);

⁴ gem. TRAS 120 (Kap. 3.3);

⁵ gem. TRAS 120 (Kap. 2.6.3);

⁶ lediglich zur Voreinstellung des Lufteintrages;

⁷ regelmäßige Erfassung gem. VDMA 6299 (Kap. 5.5) / 44. BImSchV;

⁸ sofern nicht im Durchflussmessgerät integriert;

⁹ Nicht erforderlich für kleine, Gülle betonte Anlagen mit eingeschränktem Wärmeüberschuss;

Fortwärme über BHKW-Notkühler			X
Wärmeabsatz	X		
Wärmemengenzähler für jedes BHKW bei KWK-Nutzung und BHKW mit unterschiedlicher Stromkennzahl	X		
Gaswarneinrichtung Maschinenraum (BHKW) ¹⁰	O	▲	
Brandmelder im Elektro- und Maschinenraum (BHKW) ¹¹	O	▲	
Überwachung Temperatur Schaltschränke (Steuerung) ¹²	O	▲	
Überwachung Aktivkohlefilter zur Vermeidung von unerwünschten Reaktionen (Brände) ¹³	O	▲	
Überwachung des Zwischenraums im Tragluftdach ¹⁴	O	▲	
Alarmierung bei Auslösevorgänge Über-, Unterdrucksicherung ¹⁵	O	▲	
Betriebsstunden BHKW	X		
Betriebsstunden Gasfackel ¹⁶	O	▲	
Stromeinspeisung	X		
NO _x -Sensor BHKW ¹⁷	O		▲
Temperatursensor vor Oxidationskatalysator ¹⁷	O		▲

Sicherheitseinrichtungen müssen unzulässige Betriebszustände anzeigen oder verhindern. Sicherheitseinrichtungen, die für ihren Betrieb Fremdenergie (z. B. elektrische Energie, Druckluft) benötigen, müssen bei Ausfall der Fremdenergie oder bei Unterbrechung oder Kurzschluss der Verbindungsleitungen zwischen ihren Anlagenteilen diese Störung anzeigen.

¹⁰ gem. TRAS 120 (Kap. 3.6);

¹¹ ebd. (Kap. 2.2.1);

¹² ebd. (Kap. 3.11);

¹³ ebd. (Kap. 3.7);

¹⁴ ebd. (Kap. 3.5);

¹⁵ ebd. (Kap. 2.6.3);

¹⁶ ebd. (Kap. 3.8);

¹⁷ gem. 44. BImSchV / LAI-Beschluss Formaldehydbonus.

3 Beschreibung einzelner messtechnischer Komponenten

Im Folgenden 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.

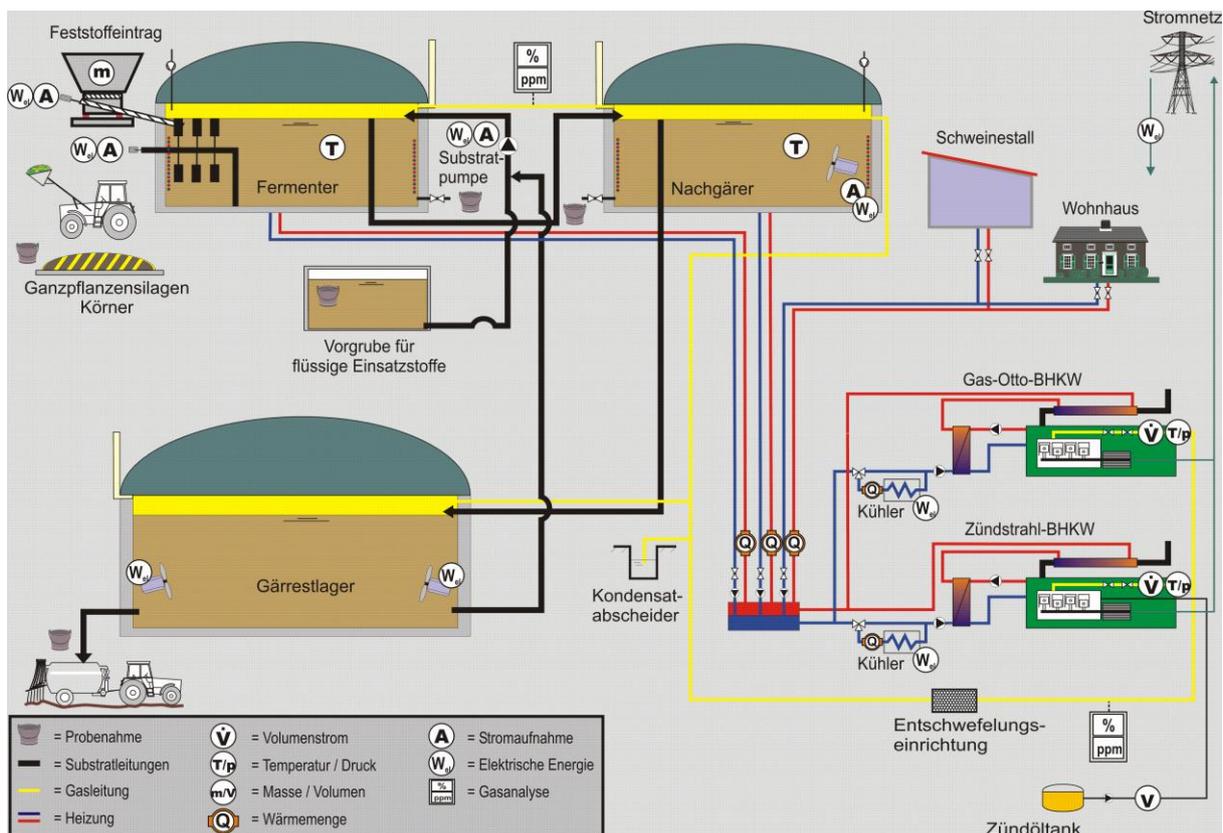


Abb. 1: Exemplarisches Schema einer Biogasanlage mit ausgewiesenen Messpunkten

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. Hier werden häufig Förderschnecken, Walzen, Schubaggregate oder auch Förderbänder mit Eintragschnecken kombiniert oder Mischaggregate zur Verflüssigung eingesetzt. Beim Einsatz von besonderen Einsatzstoffen (Abfällen) sind eingehauste Annahemhallen bzw. -bereiche mit Gaswarneinrichtungen auszustatten.

Um die Raumbelastung der Biogasanlage ausreichend genau zu steuern, sollten die Futtermengen gewogen und exakt dosiert 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 muss 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 verfälscht 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 Feststoffeintragsystem. Mit dieser Technik können einzelne Qualitätsparameter der Einsatzstoffe (z.B. TS, oTS-Gehalte) direkt gemessen und die Fütterung dementsprechend angepasst werden. Mikrowellensensoren zur TS-Analytik sind ein weiteres in Erprobung befindliches Messverfahren, welches jedoch mit hohen Investitionskosten verbunden ist. Beide Verfahren zeichnen sich grundsätzlich durch niedrige Betriebskosten aus, allerdings ist die Kalibrierung sehr aufwändig. Derzeit erzielen diese Verfahren zudem noch nicht für alle Einsatzstofftypen verlässliche Ergebnisse.

3.2 Behälter

Behälter zur Lagerung von flüssigen Gärsubstraten einschließlich Silagesickersaft sowie Vorgruben (Vorlagebehälter), Fermenter, Nachgärer und Gärrestlager (Behälter zur Lagerung von flüssigen Gärresten) sind mit einer Füllstandüberwachung und einer Überfüllsicherung auszustatten. Gegebenenfalls sind auch andere prozesstechnische Behälter mit einer Überfüllsicherung auszustatten, sofern bei diesen eine Überfüllung nicht ausgeschlossen werden kann. Auf eine Füllstandüberwachung kann bei Behältern, die vollständig ins Erdreich eingebunden sind, z.B. Sickersaftbehälter, und bei oberirdischen Behältern kleiner 15 m³, z.B. Separatoren, Hygienisierungsbehälter, verzichtet werden.

3.2.1 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 sind mit einer Überfüllsicherung und in der Regel mit Messtechnik zur Füllstandsüberwachung auszustatten. Grundsätzlich ist es empfehlenswert, die Vorgrube mit einer kontinuierlichen Füllstandsmessung auszustatten, um Leerlauf zu vermeiden.

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 (Überfüllsicherung) 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.

3.2.2 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 auftreten, wenn die Dichte des Substrats schwankt, z. B. im Falle einer Schaumbildung oder bei stark aufschwimmenden Substraten. Der Einbau eines weiteren Drucksensors in der Mitte des Behälters ermöglicht die Bestimmung der Dichte. Besonders in Hochfermentern und/oder bei hohen TS-Gehalten kann hierdurch das Ergebnis dieser Messtechnik verbessert werden, da hierdurch auch die Ergebnisse der anderen Fühler geprüft werden können.

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 verschiedene Ausbreitungsgeschwindigkeiten haben. 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. Bei frei strahlendem Radar kann Schaum zu Fehlanzeigen führen.

Als Einbauort für die **Schaum- und Überfüllwächter** 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 Weiträumigkeit 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 zumindest auf 3-Leiter-, 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 Reaktionsgeschwindigkeit 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 (abgehende) 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: In Gärbehältern, insbesondere bei thermophiler Fermentation 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.

3.3. 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 nach Ablauf der Eichfrist ist zwingend erforderlich.

Sind mehrere BHKW mit unterschiedlicher Stromkennzahl installiert, ist zur Ermittlung der KWK-Strommenge jedes BHKW mit einem eigenen Wärmemengenzähler auszustatten.

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, während für reine Abrechnungszwecke ein Batteriebetrieb ausreichend ist.

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. ungünstige Einbausituationen der Temperaturfühler machen eine geeichte Messstelle ungültig. Dies gilt auch für das Kürzen oder Verlängern der Temperaturfühlerleitungen.

3.4 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 Verrohrung überwiegend 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.

Sofern der Güllebonus in Anspruch genommen wird, sollten die eingesetzten Mengen an flüssigen Wirtschaftsdüngern mittels eines MID nachgewiesen werden.

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.

3.5 Gaserfassung

3.5.1 Biogaszusammensetzung

Die Zusammensetzung des entstandenen Biogases kann an verschiedenen Orten an der Anlage gemessen werden. Die Analyse der Brenngaszusammensetzung (insb. H_2S) unmittelbar vor dem BHKW dient zur Kontrolle der Entschwefelung, der Verbrennungseigenschaften und zum Nachweis bzgl. der Maßnahmen zur SO_x -Emissionsminderung gem. 44. BImSchV (VDMA 6299). 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 durch Kühlen getrocknet, kann der Methanertrag mit dem so gewonnenen Messwert nicht direkt ermittelt werden, da im Gasdurchflussmesser der feuchte Gasstrom gemessen wird. Alternativ kann die Gasanalyse im Abstrom einer aktiven Gaskühlung erfolgen.

Die einfachste Variante der Gasanalyse sind Reaktionsröhrchen („Dräger-Röhrchen“), mit denen die Konzentration einzelner Gaskomponenten bestimmt werden kann. Hierzu wird ein definiertes Gasvolumen durch ein Glasröhrchen gepumpt. Die zu ermittelnde Komponente reagiert dort mit einem Trägermedium in einer Farbreaktion. Die Konzentration kann an einer Skalierung abgelesen werden. In der Praxis dient die Methode häufig zur Kontrolle der Schwefelwasserstoffkonzentration im Biogas.

Zur manuellen Bestimmung mehrerer Gaskomponenten sind von verschiedenen Herstellern Handmessgeräte verfügbar. Automatische Gasanalysen (ggf. an mehreren Messstellen) werden mit stationären Analysatoren durchgeführt. Die Geräte können üblicherweise Methan (CH_4), Kohlendioxid (CO_2), Sauerstoff (O_2) und Schwefelwasserstoff (H_2S), optional auch Wasserstoff (H_2) messen. CH_4 und CO_2 werden i. d. R. durch Infrarot (IR)-Technik ermittelt. Zur Bestimmung von O_2 , H_2S und H_2 sind elektrochemische Sensoren üblich. Für Methan, Kohlendioxid und Sauerstoff beträgt die Sensorabweichung rund $\pm 2\%$ vom Messbereichsendwert (MBE), für Wasserstoff etwa $\pm 3\%$ vom MBE und für Schwefelwasserstoff ca. 10% des Messwerts. Aufgrund der Drift sollten die Sensoren mindestens jährlich, besser halbjährlich kalibriert werden. Elektrochemische Sensoren werden zudem „verbraucht“, die Standzeit ist abhängig von der Häufigkeit der Messungen.

Für die eichfähige Analyse von aufbereitetem Gas zur Einspeisung ins Erdgasnetz werden Gaschromatographen (GC) eingesetzt. Hochgenaue Geräte nach Industriestandard zur kontinuierlichen Gasanalyse liegen preislich um einen Faktor 3 bis 5 höher als die oben beschriebenen Analysatoren und spielen deshalb in landwirtschaftlichen Biogasanlagen keine Rolle.

3.5.2 Gasspeicher (Gasvorrat, Überwachung, Gastemperatur, Gasdruck)

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 % i. d. R. stark abnimmt, da dann unkontrollierbare Verformungen der Gasblase auftreten. Die Gastemperatur wird in der Regel über PT100- bzw. PT1000-Fühler in der Gasleitung gemessen.

Insbesondere wenn die Biogasanlage bedarfsgerecht Strom erzeugt, sollten die Messwerte zu den Gasspeicherfüllständen in die Anlagensteuerung aufgenommen werden, damit sie der Direktvermarkter abrufen kann. Um Auslösungen der Überdrucksicherungen (ÜDS) und der alternativen Gasverbrauchseinrichtung (Gasfackel) zu detektieren und zu dokumentieren, ist insbesondere für Biogasanlagen im Anwendungsbereich der TRAS 120 eine kontinuierliche Überwachung der ÜDS und der Gasfackel vorzusehen.

Biogasanlagen im Anwendungsbereich der TRAS 120 müssen zudem beim Einsatz von 2-schaligen Tragluftspeichern eine Zwischenraumüberwachung auf Leckagen (Methansensor) durchführen. Nachdem aktuell noch keine stationäre Messtechnik für diesen Anwendungsfall standardmäßig verfügbar ist, ist als Alternative, eine wöchentliche Prüfung der Abluftkanäle des Tragluftspeichers mittels Gasschnüffler sowie zusätzliche anlassbezogene Messungen, z. B. nach Starkwindereignissen, Druckschwankungen etc. als organisatorische Überwachungsmaßnahme in die Betriebsanweisung aufzunehmen.

Zur Ermittlung des Prozessdrucks werden Überdruckmessungen durchgeführt, wobei der atmosphärische Druck Bezugspunkt darstellt. Füllstands- und Filterdrücke werden durch Differenzdruckmessungen ermittelt, die den Unterschied zwischen zwei Druckniveaus feststellen. Überdruckmessumformer für alle Betriebsmessungen, Verrechnungsmessungen bzw. hochgenaue Gasdurchflussmessungen mit Druck- und

Temperaturkompensation erfordern eine Absolutdruckmessung. Der Prozessanschluss ist hier in der Regel ein G ½ Manometeranschluss.

3.6 BHKW und Gasverwertung

Aus Gründen des Explosionsschutzes sind Maschinenräume für BHKW in immissionsschutzrechtlich genehmigten Biogasanlagen mit Warneinrichtungen für Methangas auszustatten. Diese Einrichtungen sind mit entsprechenden sicherheitsgerichteten Folgehandlungen (siehe TRAS 120, DGUV R-113-001) zu verbinden. Um Brände frühzeitig zu erkennen, sind Maschinenräume und Elektroräume von Biogasanlagen im Anwendungsbereich der TRAS 120 mit Brandmeldetechnik (z.B. geeignete Rauch- oder Temperaturmelder) auszustatten.

Zur Bestimmung der produzierten Biogasmenge sind Messverfahren, bei denen bewegliche Teile involviert sind (z. B. Turbinenrad), aufgrund der korrosiven Wirkung des Gases nicht zu empfehlen. Die nachfolgend vorgestellten Messprinzipien sind bewegungslose Verfahren und haben sich u. a. beim Einsatz in Bayerischen Pilotanlagen als zuverlässig erwiesen. Voraussetzung dafür ist die strikte Einhaltung der Herstellervorgaben.

Der für die Messung des Brenngasvolumenstroms in Biogasanlagen häufig eingesetzten **Wirbelstromzähler** nutzen das Prinzip der Karmanschen Wirbelstraße und erfordern große Ein- (15 DN) und Auslaufstrecken (5 DN). **Drallzähler** arbeiten nach einem ähnlichen Prinzip, erfordern aber nur ein Drittel der Einlaufstrecke des Wirbelstrom-Geräts und werden deshalb bei erschwerten Einbaubedingungen verwendet. Aufgrund der vom Verdichter verursachten, relativ konstanten Druckverhältnisse kann in den Geräten ein Festwert für den Gasdruck hinterlegt werden. Durch eine integrierte Temperaturmessung kann dann der Normvolumenstrom bezogen auf 0 °C und 1013 mbar berechnet und direkt ausgegeben werden. Störungen im Einlauf (Bögen, Fühler, Ventile etc.) verlängern die Einlaufstrecke. Typische Auslegungswerte für den Wirbelstrom- bzw. Drall-Durchflussmesser zeigt Tabelle .

Tabelle 2: Typische Auslegung von Wirbelstrom- und Drall-Durchflussmessern für Biogasmotoren

Generatorleistung P_{el}, kW	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

Massestromzähler erfassen die Masse des Gasstroms durch ein thermisches Verfahren und benötigen keine Temperatur- und Druckkompensation. Stattdessen muss jedoch die Gaszusammensetzung bekannt sein, damit der Volumenstrom unter Normbedingungen ausgegeben werden kann. Ein Einsatz wird nur für den sauberen Bereich empfohlen, da Kondensation, Ablagerungen und schwankende Gaszusammensetzung den Messwert verfälschen. Die erforderlichen Ein- und Auslaufstrecken sind identisch zum Wirbelstromzähler.

Bei der **Schwebekörpermessung** wird ein definierter Körper durch den Volumenstrom in einem Glas- oder Metallkonus in Schwebelage gehalten und zeigt direkt an einer kalibrierten Skala den Durchfluss an. Die Daten der auf den Arbeitspunkt ausgelegten Geräte können optional elektronisch über ein 4...20 mA-Signal ausgegeben werden. Das Prinzip wird v. a. zur Kontrolle der zur biologischen Entschwefelung nötigen Luftrate (2 bis 5 % des erzeugten Biogases) verwendet, die durch Aquariumpumpen oder Kompressoren erzeugt wird.

Für BHKW-Anlagen, welche im Anwendungsbereich der 44. BImSchV liegen und gleichzeitig den Luftreinhaltebonus gem. EEG erhalten, ist der Einsatz eines NO_x-Sensors und eines Temperatursensors vor dem Oxidationskatalysator vorgeschrieben.

Für Biogasanlagen im Anwendungsbereich der TRAS 120 ist eine automatische Überwachung (ggf. CO- oder SO_x-Sensor, Temperaturüberwachung) der Aktivkohlefilter vor unerwünschten Reaktionen (z.B. Selbstentzündung) vorzunehmen. Auch die Temperaturen in den Schaltschränken der Elektroräume sind zu überwachen. Sie dürfen max. 40 °C betragen.

3.7 Gärrestlager

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

3.8 Sinnvolle Zusatzausstattung

Um grundlegende Parameter für die Prozesskontrolle selbst bestimmen zu können, empfiehlt sich die Einrichtung eines kleinen „**Biogaslabors**“ vor Ort. Die Grundausstattung kann aus einem pH-Messgerät („pH-Meter“) und einer Titrationsapparatur („Bürette“) bestehen, um routinemäßig den FOS/TAC-Wert im Gärgemisch zu bestimmen; noch einfacher geht dies mit automatischen Titratoren. Ein eigenes Gerät zur Bestimmung des Trockenmassegehaltes in flüssigen und festen

Proben kann ebenfalls von Nutzen sein. 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](#).

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 Methankonzentrationen können auf biologische Probleme hinweisen, in vielen Fällen werden sie aber durch eine Drift der Messzellen verursacht. In diesem Fall ist die Plausibilität des Messwerts anhand der CO₂-Konzentration zu prüfen. Niedrige CH₄-Werte bei gleichzeitig hohen CO₂-Werten weisen auf biologische Probleme hin, während niedrige CH₄-Werte bei gleichzeitig konstanten CO₂-Werten auf eine fehlerhafte CH₄-Messung hindeuten.

Messgeräte können grundsätzlich nur dann repräsentative Werte liefern, wenn die Vorgaben der Hersteller genau eingehalten werden. Sensoren müssen regelmäßig gereinigt und die vom Hersteller empfohlenen Intervalle zur Kalibration beachtet werden. Die Kalibrierungs- und Reinigungsmaßnahmen sollten dokumentiert sein.

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 Temperaturen,

Behälterfüllstände und sicherheitsrelevanter Größen sollten die Sensoren redundant ausgeführt werden, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Entscheidend ist nicht die Fülle an Messwerten, sondern die zuverlässige Überwachung der wichtigsten Betriebsparameter. Auf nicht bzw. sehr schwer interpretierbare Größen (z. B. H₂-Gehalt im Biogas) kann verzichtet werden; ebenso auf solche, die zu träge reagieren (z. B. pH-Wert im Fermenter). Die Installation eines automatischen Gasanalysators hingegen ist ratsam, da diese wertvollen Hinweise auf beginnende gärbiologische Probleme liefert, ohne dass es zu Verzögerungen wie bei der labortechnischen Untersuchung von Fermenterproben kommt.

Stand der Technik ist eine Visualisierung der Messgrößen in der Anlagensteuerung bzw. dem Prozessleitsystem.

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

TRAS 120

DGUV Regel 113-001 der BGRCI

44. BImSchV

VDMA Einheitsblatt 6299

DWA TRwS 793-1

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, R. Kissel, C. Herb, M. Helm und J.S. Müller, M. Maciejczyk, T. Krodel (2021): **Empfehlungen für die messtechnische Ausstattung landwirtschaftlicher Biogasanlagen**. In: Biogas Forum Bayern, Hrsg. ALB Bayern e.V., https://www.biogas-forum-bayern.de/De/Fachinformationen/AnlagenteileAnlagentechnik/messtechnik_messtechnischeAusstattung.html, Stand [Abrufdatum].