

## Motivation, Voraussetzungen und Methoden für die Prozessüberwachung



### Nr. III – 1/2016 (2. Auflage)

---

Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe III (Prozessbiologie, -bewertung und Analytik) im „Biogas Forum Bayern“ von:



**Josef Götz**

Fachverband Biogas



**Markus Auer**

Maschinenring Tuttingen Stockach GmbH



**Dr. Michael Lebuhn**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft - Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen



**Gunther Pesta**

Atres

## Inhaltsverzeichnis

1.	Motivation für die Prozessüberwachung .....	2
1.1.	Ziele für den Betrieb einer Biogasanlage.....	2
1.1.1.	Wirtschaftlichkeit.....	2
1.1.2.	Prozessbiologie.....	2
1.2.	Voraussetzungen zum Erreichen dieser Ziele .....	3
1.3.	Hinweise auf Einnahmeausfälle durch Prozessdestabilisierung .....	3
2.	Voraussetzungen für die Prozessüberwachung .....	4
2.1.	Notwendigkeit der kontinuierlichen Überwachung .....	4
2.2.	Verweise auf messtechnische Ausstattung .....	4
2.2.1	Mittels Online-Messung kann laufend überwacht werden.....	5
2.2.2.	In einem Kleinlabor vor Ort kann ermittelt werden .....	6
2.2.3.	In einem externen Labor kann ermittelt werden.....	6
3.	Ausblick in die Zukunft .....	6
3.1.	Zukunft der Messtechnik .....	6
3.2.	Mikrobiologische Analysen.....	7
3.3.	Bedarfsgerechten Prozessteuerung .....	7
4.	Checkliste zur Prozessüberwachung.....	7
5.	Literatur .....	8

## 1. Motivation für die Prozessüberwachung

Das Investment in eine Biogasanlage ist zu hoch, um mit einer unzureichenden Auslastung der Anlage auszukommen. Da eine gute Rentabilität zwingend erforderlich ist, muss die Anlage gut ausgelastet sein ( $\geq 90\%$ ). Das Herzstück der Biogasanlage ist der Fermentationsprozess, der sensibel auf Umwelteinflüsse und Schwankungen von Substratquantität und -qualität reagiert und dessen Mikrobiologie nach aufgetretenen Problemen oft nur schwer wieder stabilisiert werden kann.

Prozessstörungen haben eine Ursache, die es im Rahmen einer Prozessdiagnose zu erkennen gilt. Erst wenn die Ursache erkannt ist, kann das Problem spezifisch behoben werden. Werden nur Symptome bekämpft, ist die Gefahr sehr groß, dass die Störung erneut und dann möglicherweise sogar noch intensiver auftritt. Zudem kann die Prozessüberwachung auch helfen, solche Störungen frühzeitig zu erkennen, damit Produktionsausfällen vorzubeugen und Schadensfälle zu vermeiden.

### 1.1. Ziele für den Betrieb einer Biogasanlage

#### 1.1.1. Wirtschaftlichkeit

- Hoher Methanertrag der Fermenter ( $\text{m}^3 \text{CH}_4 / \text{t oTS Inputmaterial}$ ) und bestmögliche Auslastung der angeschlossenen Gasverwertungseinrichtungen
- Bedarfsgerechte Gasproduktion
- Gleichbleibend gute Gasqualitäten (hohe Methan- sowie niedrige Schwefelwasserstoff- und Ammoniakgehalte)
- Geringer Eigenstromverbrauch
- Hohe Versorgungssicherheit für die angeschlossenen Wärme-/Kälteabnehmer

#### 1.1.2. Prozessbiologie

- Generalziel: Lebens- und Wachstumsbedingungen für die spezifischen Biozönosen im Prozess optimal gestalten (sofern eine mehrstufige Fermentation erfolgt in den einzelnen Prozessschritten). Dies gilt besonders für das „Nadelöhr“ des Gesamtprozesses, die eigentliche Methanbildung.
- Möglichst frühzeitige Informationen über Trends zum Verlassen der Optimal- bzw. Toleranzbereiche der Schlüsselparameter. Hinweise dazu enthält u.a. die LfL-Schrift 12/2009 „Mikrobiologische Prozesse in landwirtschaftlichen Biogasanlagen“ ([http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p\\_36964.pdf](http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_36964.pdf))

- Möglichst Online-Überwachung (anhand repräsentativer über das Gesamtvolumen verteilter Messstellen) und Regelung der Prozesstemperatur
- Keine Destabilisierung durch ungewollte Temperaturschwankungen im Fermenter und ggf. im Nachgärer
- Homogene Temperaturverteilung im Fermenter (keine kälteren und besonders keine heißeren Bereiche), d.h. mindestens drei Messstellen im Fermenter verteilt (hängt vom Niveau der Vorlauftemperatur, der Tauscherfläche und der Rührtechnik ab)
- Gleichbleibende organische Raumbelastung mit mikrobiell verfügbarer oTS erlauben Auswertungen und Trendanalysen aus den Untersuchungen des Gärgemischs (prozessbiologisches Monitoring wird möglich)

## 1.2. Voraussetzungen zum Erreichen dieser Ziele

- Regelmäßige Analysen des Gärgemischs auf Fettsäurespektrum TS, oTS, FOS/TAC und  $\text{NH}_4^+$  sowie Kontrolle der Prozesstemperatur und des pH-Werts
- Regelmäßige tägliche Aufzeichnungen („Betriebstagebuch“, am besten elektronisch)
- Korrekte Bestimmung der Menge und Zusammensetzung der Inputmaterialien
- Regelmäßige Analyse der Input-Qualität, insbesondere in Umstellungsperioden

## 1.3. Hinweise auf Einnahmeausfälle durch Prozessdestabilisierung

Ein Absinken der Gasproduktion auf 50 % der Sollmenge bedeutet einen Ertragsausfall von mindestens 50 %! Bei der Wärmelieferung muss dann z. B. die redundante Spitzenlastheizung mit teureren Energieträgern einspringen, um das Defizit abzudecken. Bei einem Abfall der Gasproduktion auf 50 % während eines Monats mit anschließender Rückkehr in den Normalbetrieb muss ein erhöhter Substratverbrauch pro erzeugte Energieeinheit einberechnet werden. Bei einer angestrebten Auslastung von jährlich 8.000 Volllaststunden fällt dieser Wert allein durch diese einmalige Destabilisierung auf einen Wert von maximal 7.650 Volllaststunden ab. Eine solche Reduktion kombiniert mit dem erhöhten Substratverbrauch und den gleichbleibenden Fixkosten bei gleichzeitig geringerer Produktion wirkt sich überproportional auf den erzielbaren Jahresüberschuss aus, bzw. kann schnell ein Jahresdefizit erzeugen. Die finanziellen Auswirkungen sind je nach Liquiditätsausstattung des Betreibers gravierend und können bis zum Konkurs führen. Über die zugehörige Rentabilität muss an dieser Stelle nicht mehr nachgedacht werden.

## 2. Voraussetzungen für die Prozessüberwachung

Je nach Anlagegröße besteht ein unterschiedlich hohes wirtschaftliches Risiko. Die technische Ausstattung für die Prozessüberwachung sollte daher in angemessenem Verhältnis zur Anlagegröße stehen (subjektive Entscheidung des Anlagenbetreibers, entsprechend seinen persönlichen Anforderungen an Sicherheit und Komfort!).

Eine prozessbiologische Betreuung und Analyse des Gärgemischs ist auf jeden Fall zu empfehlen, um die eigene Anlage „kennen zu lernen“. Allgemeine Hinweise hierzu finden sich auch in der VDI Richtlinie 4631 (VDI, 2011). Jede Anlage entwickelt entsprechend der spezifischen Zusammensetzung des Gärgemischs und der jeweiligen Umweltbedingungen im Fermenter eine mehr oder weniger unterschiedliche Zusammensetzung der Mikroorganismengesellschaft und ein unterschiedliches Verhalten der Mikrobiologie. Nur bei kontinuierlicher Analyse können Abweichungen (Trends z. B. in den Gehalten an den einzelnen Flüchtigen Fettsäuren) und sich dadurch ankündigende Schwierigkeiten rechtzeitig erkannt werden. Neuerdings bestehen auch Möglichkeiten, die Mikroorganismen, die ja den Biogasprozess durchführen, und ihre Leistungen direkt zu analysieren. Mehr zu diesem Thema findet sich in Abschnitt 3.2.

### 2.1. Notwendigkeit der kontinuierlichen Überwachung

Nur durch eine kontinuierliche Überwachung ist eine Trendanalyse möglich. Ausschließlich hierdurch können anlagenspezifische Betriebszustände und Grenzwerte im Laufe der Zeit definiert werden, welche anschließend für den stabilen Betrieb herangezogen werden. Nur im Rahmen der Prozesskontrolle anhand bestimmter charakteristischer Prozessparameter (Prozessindikatoren) ist es möglich, ein Abdriften der Prozessbiologie frühzeitig genug zu erkennen, um noch gegensteuern zu können.

### 2.2. Verweise auf messtechnische Ausstattung

Vorab muss angemerkt werden, dass jede Messung nur so gut ist wie die Möglichkeit, sie zu überprüfen! Eine regelmäßige Kalibrierung der Messgeräte entsprechend den Herstellerangaben ist notwendig. Es besteht sonst die Gefahr, fatale Fehlentscheidungen aufgrund fehlerhafter Messwerte oder Warnhinweise zu treffen. Näheres hierzu findet sich in der Fachinformation des Biogas Forum Bayern [„Empfehlungen für die messtechnische Ausstattung landwirtschaftlicher Biogasanlagen“](#).

### 2.2.1 Mittels Online-Messung kann laufend überwacht werden

- Temperatur
- Füllstände: Füllstandsmessung der Fermenter auch wichtig als Überfüllsicherung
- Durchflussmengenmessung
- Tägliche Messung und Aufzeichnung des Stromertrags
- Tägliche Gasmengen- und Gasqualitätsmessung incl. Aufzeichnung über ein Gasmessgerät (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, evtl. H<sub>2</sub>): sehr wichtig, da daraus Rückschlüsse auf den Gärprozess möglich sind (allerdings zeitlich etwas verzögert, darum nicht als alleiniger Indikator ausreichend)
- Gewichtsmäßige Erfassung der Substrateinwaagen über den Feststoffdosierer
- Gasmenge: in Bezug setzen zur eingesetzten Substratmenge (Anteil im Mix). Daraus ist Rückschluss möglich, wie die Gasausbeute aus den eingesetzten Substraten ausgefallen ist
- pH-Messung: nur bedingt aussagekräftig; durch betriebspezifische Überwachung lässt sich aber feststellen, welchen pH-Wert der Fermenterinhalt aufweist und wie sich dieser verändert (bei Veränderungen ist eine Reaktion des Betreibers meist kaum mehr möglich, da dann das Puffervermögen bereits erschöpft ist und die Fermenterbiologie „umkippt“).

Die oben aufgeführten Punkte können mittels am Markt verfügbarer Technik überwacht werden.

Entsprechende verlässliche Messwerte geben dem Anlagenbetreiber wichtige, aktuelle Informationen über den Zustand und die laufende Entwicklung seiner Anlage. Hierdurch wird eine Schwachstellenanalyse möglich (Eingrenzung Betriebszustände und Entwicklung BHKW <-> Fermenter, Fehlereingrenzung). Bei Abweichungen vom Sollwert können auftretende Schwierigkeiten im Gärprozess schnell erkannt werden und ermöglichen ein schnelles Eingreifen.

### 2.2.2. In einem Kleinlabor vor Ort kann ermittelt werden

- pH-Wert (pH-Meter)
- FOS/TAC-Wert (Bürette + pH-Meter oder Titrator)
- TS, des Gärsubstrates und der Einsatzstoffe (Waage + Trockenschrank)

### 2.2.3. In einem externen Labor kann ermittelt werden

- pH-Wert
- FOS/TAC-Wert
- Ammoniakalischer-Stickstoff ( $\text{NH}_3$  und  $\text{NH}_4^+$ )
- Trockensubstanz (TS) und organische Trockensubstanz (oTS)
- Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure (+ höhere Säuren), Summe der Gärsäuren
- Spurenelemente
- Restgaspotential
- Mikrobiologische Parameter

**Zu beachten:** Die im Kleinlabor vor Ort und im externen Labor ermittelten Analysenwerte sind auf Grund der Einflüsse des Probenverkehrs sowie unterschiedlicher Probenbehandlung und Analysemethoden nur eingeschränkt vergleichbar. Für die fortlaufende Prozesskontrolle sollten daher möglichst nur Werte aus einer Quelle verwendet werden. Wichtiger als der Einzelwert ist die Entwicklung der betrachteten Werte über einen gewissen Zeitraum.

## 3. Ausblick in die Zukunft

### 3.1. Zukunft der Messtechnik

Zukunftsziel sollte die online-Messung von Prozessparametern mit einer modellgestützten Überwachung und Prozesssteuerung sein. Die Messung der mikrobiell abbaubaren oTS-Konzentration wäre hierbei ein wichtiger Punkt, um die Abbaubarkeit optimieren zu können.

Weiterhin gibt es die Möglichkeit der Nah- oder neuerdings auch Mittelinfrarotspektroskopie (NIRS, MIRS) zur Bestimmung der Inputqualität und der Prozessindikatoren direkt im Gärgemisch. Ebenso können die für die Düngung relevanten Parameter rasch und unkompliziert ermittelt werden (Pesta, 2015; KTBL, 2015). Für die MIRS-Technik stehen mobile Handmessgeräte zur Verfügung – rasche und einfache Vor-Ort-Analytik ist somit möglich. Inline-/online-Messgeräte sind für NIRS bereits verfügbar, für MIRS befinden sie sich in der Entwicklung. Eine Messung des Wasserstoffs im Biogas ist auch möglich, für eine Messung im Gärgemisch ist allerdings noch keine im Langzeitbetrieb erprobte Messtechnik verfügbar.

### 3.2. Mikrobiologische Analysen

Interessant für die Optimierung des Anlagenbetriebs sind die Bestimmung der Konzentration der Methanbildner und ihrer spezifischen Aktivität sowie eine qualitative und quantitative Analyse der mikrobiellen Gesellschaft. Für die Methanbildner (methanogene Archaeen) wurde beispielsweise bereits der „Metabolische Quotient“ (MQ) entwickelt (Munk et al., 2012; Lebuhn et al., 2014). Er beschreibt den Aktivitätsstatus der Methanbildner und bewegt sich im Optimalfall zwischen 0,2 und 3. Weiterhin kann der Nachweis bestimmter mikrobieller „Bioindikatoren“ Auskunft über den Prozesszustand geben und zur Prozessdiagnose eingesetzt werden. Verfahren, in dieser Richtung werden vereinzelt schon in der Praxis eingesetzt.

### 3.3. Bedarfsgerechten Prozessteuerung

Hinsichtlich der Forderung nach bedarfsgerechter Energiebereitstellung ist es eine wichtige Option für die Zukunft, nicht nur die Gasspeicherung variabel zu gestalten. In einem gewissen Rahmen bestehen auch Möglichkeiten, die Intensität der Gasproduktion über die Änderung der organischen Raumbelastung und der Substratzusammensetzung prognostisch zu steuern (BLW 2015).

Beispielsweise reagieren die Mikroorganismen sehr schnell auf leicht verdauliche Kost wie beispielsweise Zucker- oder Futterrübenmus oder –silage. In einer entsprechenden Substratmischung lässt sich also schnell viel Gas produzieren, und die Produktion lässt sich auch vorhersehbar planen. Allerdings ist Vorsicht geboten, da der Prozess bei einer solchen Substratzusammensetzung zur Versäuerung tendiert. Um die Belastungsgrenzen kennenzulernen, sollten entsprechende Untersuchungen im Vorfeld durchgeführt werden.

## 4. Checkliste zur Prozessüberwachung

Biogasanlagenbetreiber müssen inzwischen viele Überprüfungen der Anlage durchführen. Viele Dokumente sind zur Vorlage bei der Überprüfung durch die Behörden vorzuhalten. Tagebücher über die Fütterung der Anlage und Zugaben zum Prozess sind als Nachweis für den Umweltgutachter zu führen. Für die Gärrest- und Wärmeabgaben müssen Gehalte und Mengen mit Nachweisen für die Kunden belegt werden. Für die Sicherheit der Anlage müssen verschiedene Überprüfungen und Wartungen durchgeführt werden. Die Fachinformation „Checkliste Prüfpflichten für Biogasanlagenbetreiber“ ([http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Checkliste\\_Prufpflichten\\_fur\\_Biogasanlagenbetreiber.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Checkliste_Prufpflichten_fur_Biogasanlagenbetreiber.pdf)) soll den Anlagenbetreiber im laufenden Betrieb unterstützen.



## 5. Literatur

BLW 2015: Biogasanlagen flexibel aussteuern. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 27 (3.7.2015), S. 53

KTBL (Hrsg.) 2015: Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. KTBL-Schrift 508, S. 422

Lebuhn, M.; Munk, B. and Effenberger, M. (2014): Agricultural biogas production in Germany - from practice to microbiology basics. Energy, Sustain. Soc. 4/10, DOI:10.1186/2192-0567-4-10, pp. 21

Munk, B.; Bauer, C.; Gronauer, A. and Lebuhn, M. (2012): A Metabolic Quotient for methanogenic *Archaea*. Water Sci. Tech. 66/11, 2311-2317, doi: 10.2166/wst.2012.436

Pesta, G. (2015): Die Vor-Ort-Bestimmung relevanter Vergärungsparameter mittels MIRS – praktisch, rasch und zuverlässig. Tagungsband Biogas Innovationskongress 2015, S. 139

VDI (2011): VDI Richtlinie 4631 Gütekriterien für Biogasanlagen (zu bestellen unter: [https://www.vdi.de/richtlinie/vdi\\_4631-guetekriterien\\_fuer\\_biogasanlagen/](https://www.vdi.de/richtlinie/vdi_4631-guetekriterien_fuer_biogasanlagen/))

### Zitiervorlage:

Götz, J.; Auer, M.; Lebuhn, M. und Pesta, G. (2016): Motivation, Voraussetzungen und Methoden für die Prozessüberwachung. In: Biogas Forum Bayern Nr. III – 1/2016 (2. Auflage), Hrsg. ALB Bayern e.V., [http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Motivation\\_Voraussetzungen\\_Methoden\\_Prozessuberwachung\\_2\\_Auflage.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Motivation_Voraussetzungen_Methoden_Prozessuberwachung_2_Auflage.pdf), Stand [Abrufdatum].

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

### Arbeitsgruppe III (Prozessbiologie, -bewertung und Analytik)

hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Substratbewertung
- Mikrobiologie und Chemie
- Analytik
- Prozesskontrolle
- Restgaspotenziale

### Mitglieder der Arbeitsgruppe

- **Atres**
- **Bayerisches Landesamt für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik**
- **Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit**
- **Biogasanlagenbetreiber**
- **Fachverband Biogas e.V.**
- **Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft**  
Abteilung für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen  
Institut für Landtechnik und Tierhaltung  
Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft
- **Maschinenring Tuttlingen Stockach GmbH**
- **renergie Allgäu e.V.**
- **Technische Universität München**
- **UGN Umwelttechnik GmbH**
- **Wessling Laboratorien**



**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](mailto:info@biogas-forum-bayern.de)