

# Motivation, Voraussetzungen und Methoden für die Prozessüberwachung



[www.biogas-forum-bayern.de/bif55](http://www.biogas-forum-bayern.de/bif55)

Biogas Forum Bayern, Verfasser:

**Josef Götz**

**Markus Auer**

**Michael Lebuhn**

**Gunther Pesta**

Fachverband  
Biogas e.V.

Maschinenring  
Tuttlingen-Stockach

bioBit GmbH

atres Group

## Foren der ALB Bayern e.V.

Die ALB Bayern e.V. ist ein offiziell anerkannter, gemeinnützig tätiger, eingetragener Verein mit Mitgliedern aus Landwirtschaft, Wissenschaft, Beratung und den landwirtschaftlichen Organisationen. Weiterhin sind die staatliche Verwaltung, Firmen sowie Dienstleistungsunternehmen aus Industrie, Handel, Gewerbe sowie dem Umweltbereich vertreten.

Die ALB unterstützt die Landwirtschaft mit Wissensvermittlung in den Themenbereichen Bauen in der Landwirtschaft, Bewässerung, Biogas und Landtechnik. Hierzu handelt sie als neutraler Mittler und Bindeglied zwischen landwirtschaftlicher Praxis, Forschung, Umwelt, staatlicher Verwaltung, Gewerbe und Industrie.

Für umfassende Informationen zur umweltschonenden und effizienten Anwendung in der Praxis

werden zu den einzelnen Tätigkeitsbereichen Foren mit folgenden Aufgaben organisiert:

- ▶ Zusammenführen des aktuellen Wissensstandes,
- ▶ Reflektieren mit allen an der Thematik Beteiligten,
- ▶ Erarbeiten/Bekanntmachen konsensfähiger Lösungen

Foren der ALB Bayern e.V.:

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

## Förderer



Bayerisches Staatministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus



Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft



Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

## Impressum

Herausgeber      Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB), Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon            08161 / 887-0078

Telefax           08161 / 887-3957

E-Mail            info@alb-bayern.de

Internet          www.alb-bayern.de

3. Auflage        2025

© ALB            Alle Rechte vorbehalten

Titelfoto        P. Wagner, ALB

## Inhaltsverzeichnis

|   | Seite |
|---|-------|
| 1. Motivation für die Prozessüberwachung.....                         | 4     |
| 1.1 Ziele für den Betrieb einer Biogasanlage.....                     | 4     |
| 1.1.1 Wirtschaftlichkeit .....  | 4     |
| 1.1.2 Prozessbiologie.....  | 4     |
| 1.2 Voraussetzungen zum Erreichen dieser Ziele .....                  | 5     |
| 1.3 Hinweise auf Einnahmeausfälle durch Prozessdestabilisierung ..... | 5     |
| 2. Voraussetzungen für die Prozessüberwachung .....                   | 5     |
| 2.1 Notwendigkeit der regelmäßigen Überwachung .....                  | 6     |
| 2.2 Verweise auf messtechnische Ausstattung.....                      | 6     |
| 2.2.1 Mittels Online-Messung kann laufend überwacht werden .....      | 6     |
| 2.2.2 In einem Kleinlabor vor Ort kann ermittelt werden .....         | 7     |
| 2.2.3 In einem externen Labor kann ermittelt werden .....             | 7     |
| 3. Ausblick in die Zukunft .....                                      | 7     |
| 3.1 Zukunft der Messtechnik.....                                      | 7     |
| 3.2 Mikrobiologische Analysen.....                                    | 8     |
| 3.3 Bedarfsgerechte Prozessteuerung.....                              | 8     |
| 4. Checkliste zur Prozessüberwachung.....                             | 8     |
| 5. Literatur .....  | 9     |

## 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 ( $\text{m}^3 \text{CH}_4 / \text{t}$  organische Trockenmasse 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 Biozöten 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 (siehe [Schlüsselparameter zur Kontrolle des Gärprozesses - Physikalische und chemische Untersuchungen](#) und [Schlüsselparameter zur Kontrolle des Gärprozesses - Mikro- und Molekularbiologie](#))
- ▶ Hinweise dazu enthält u.a. die LfL-Schrift [Mikrobiologische Prozesse in landwirtschaftlichen Biogasanlagen](#).
- ▶ Möglichst Online-Überwachung (anhand repräsentativer über das Gesamtvolumen verteilter Messstellen) und Regelung der Prozesstemperatur
- ▶ Keine Destabilisierung durch ungewollte Temperaturschwankungen im Fermenter und ggf. Nachgärer
- ▶ Homogene Temperaturverteilung im Fermenter (keine kälteren und besonders keine heißeren Bereiche), d.h. mindestens drei Messstellen im Fermenter verteilt (hängt vom Niveau der Vorlaufemperatur, der Übertragsfläche und der Rührtechnik ab)
- ▶ Gleichbleibende org. Raumbelastung mit mikrobiell verfügbarer org. Trockenmasse erlauben Auswertungen und Trendanalysen aus den Untersuchungen des Gärgemisches (prozessbiolog. Monitoring wird möglich)

## 1.2 Voraussetzungen zum Erreichen dieser Ziele

- ▶ Regelmäßige Analysen des Gärgemischs auf Fettsäurespektrum, TM, oTM, FOS/TAC und  $\text{NH}_4^+$  sowie Kontrolle der Prozesstemperatur und des pH-Werts. Die korrekten Begriffe TM und oTM sind äquivalent mit den in der Praxis häufig verwendeten Begriffen TS und oTS ([siehe: www.biogas-forum-bayern.de/bif17](http://www.biogas-forum-bayern.de/bif17)).
- ▶ 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.

## 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 Anlagengröße stehen. Schlussendlich bleibt es jedoch eine 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 „Gütekriterien für Biogasanlagen“ (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 regelmäßiger 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 regelmäßigen Überwachung

Nur durch eine regelmäßige 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. Anhand

bestimmter charakteristischer Prozessparameter (Prozessindikatoren) ist es im Rahmen der Prozessüberwachung 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 Wartung und Kalibrierung der Messgeräte entsprechend den Herstellerangaben ist notwendig. Es besteht sonst die Gefahr, fatale Fehlentscheidungen auf-

grund 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 ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{O}_2$ , evtl.  $\text{H}_2$ ): sehr wichtig, da daraus Rückschlüsse auf den Gärprozess möglich sind
- ▶ 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 betriebsspezifische 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 be-

reits 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  $\leftrightarrow$  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)
- ▶ Trockensubstanz bzw. -masse (TS bzw. TM) des Gärsubstrates und der Einsatzstoffe (Waage + Trockenschrank)

## 2.2.3 In einem externen Labor kann ermittelt werden

- ▶ pH-Wert
- ▶ FOS/TAC-Wert
- ▶ Ammoniakalischer-Stickstoff ( $\text{NH}_4\text{-N}$  bzw.  $\text{NH}_3\text{-N}$ )
- ▶ TS bzw. TM und organische Trockensubstanz bzw. -masse (oTS bzw. oTM)
- ▶ Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure (+ höhere Säuren), Summe der Gärsäuren
- ▶ Spurenelemente und Schwermetalle
- ▶ Biogas- bzw. spezifischer Methanertrag und Restgas- bzw. Restmethanpotential
- ▶ 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 oTM-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. Die Messung des gasförmigen Wasserstoffs im Biogas ist möglich. Für eine Messung des im Gärgemisch gelösten Wasserstoffs 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 ca. 4. 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 Bedarfsgerechte Prozessteuerung

Hinsichtlich der Forderung nach bedarfsgerechter Energiebereitstellung ist nicht nur die Erweiterung einer Biogasanlage um variable Gasspeicherkapazitäten eine wichtige Option. 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). Zu den entsprechenden technischen und biologischen Möglichkeiten hat das Biogas Forum Bayern Fachinformationen veröffentlicht ([Technische Anforderungen an Biogasanlagen für die flexible Stromerzeugung](#) und [Biologische Flexibilisierung der Biogaserzeugung](#)).

Beispielsweise reagieren die Mikroorganismen sehr schnell auf leicht verdauliche Substrate, wie beispielsweise Zucker- oder Futterrübenmus. In einer entsprechenden Substratmischung lässt sich also schnell viel Gas produzieren und die Produktion kann auch vorhersehbar geplant werden. 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 zahlreiche Überprüfungen der Anlage durchführen. Die entsprechenden Dokumente sind zur Vorlage bei der Überprüfung durch die Behörden vorzuhalten. Beispielsweise sind Betriebstagebücher mit Angaben über die Beschickung der Anlage und den Einsatz von Zusatz- und Hilfsstoffen als Nachweis für den Umweltgutachter zu führen. Für die Gär-

rest- 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 Literaturempfehlung [„Prüf- und Dokumentationspflichten“](#) 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/richtlinien/details/vdi-4631-guetekriterien-fuer-biogasanlagen>

---

**Zitiervorlage:** Götz, J., Auer, M., Lebuhn, M., Pesta, G. (2025): Motivation, Voraussetzungen und Methoden für die Prozessüberwachung In: Biogas Forum Bayern, 3. Auflage - 01/2025, Hrsg. ALB Bayern e.V., [www.alb-bayern.de/bif55](http://www.alb-bayern.de/bif55), Stand [Abrufdatum]



Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und  
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)  
in Bayern e.V.  
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

|          |  |
|----------|--|
| Telefon  | 08161 / 887-0078   |
| Telefax  | 08161 / 887-3957   |
| E-Mail   | <a href="mailto:info@alb-bayern.de">info@alb-bayern.de</a> |
| Internet | <a href="http://www.alb-bayern.de">www.alb-bayern.de</a>   |