

# Betriebsstabilität von Biogasanlagen

Dynamik organischer Fettsäuren ist entscheidend

S. Stengl, B. Weber, E.A. Stadlbauer (Labor für Entsorgungstechnik FH Gießen-Friedberg), I. Schäfer (Biogasanlage, Münzenberg)

**Bakterien schließen Stoffkreisläufe in Form von Mineralisierung organischer Stoffe. In der technischen Anwendung dieses evolutionären Prinzips wurden in den letzten Jahren bei Biogasanlagen große Fortschritte gemacht [1]. Diese gründen sich auf mikrobiologische Erkenntnisse des anaeroben Stoffabbaus in den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts [2].**

Zentral für das Verständnis der komplexen Umwandlungsschritte ist der Begriff der Nahrungskette. Darunter versteht man den schrittweisen Abbau eines Substrats, z.B. Mais (Stärke) oder Gülleinhaltsstoffe (Fette, Kohlenhydrate, Eiweiß), unter Beteiligung mehrerer mikrobieller Organismen oder Organismengruppen. Diese Abfolge findet besonders unter anaeroben Bedingungen statt. Dementsprechend werden die organischen Stoffe in der Biogasanlage in vier aufeinander folgenden Abbauphasen von unterschiedlichen Bakteriengruppen mit unterschiedlichen Generationszeiten reduziert (Abb. 1). Die Generationszeit ist die für einen Teilungszyklus der Bakterien benötigte Zeit. Bei einer Zellteilung ( $n=1$ ) in einer Stunde ( $t=1$ ) folgt  $g = n/t = 1h^{-1}$ .

## Weniger ist mehr

Die in einer Nahrungskette vereinten Bakterien bilden eine stabile Biozönose (Lebensgemeinschaft). Diese ist eine natürliche Macht im Verbund, in der das aufeinander Angewiesensein fakultativ oder obligat ist. Daraus resultieren für den stabilen Reaktorbetrieb im Wesentlichen drei Faktoren:

- Luftausschluss
- Erhaltung enger räumlicher Nachbarschaft insbesondere der acetogenen und methanogenen Bakterien (Interspezies-Wasserstofftransfer) durch milde Umwälzung



- Eine den unterschiedlichen Generationszeiten der Mikroorganismen angepasste Fütterung. Zu viel Substrateintrag pro Kubikmeter Rauminhalt und Tag, d.h. eine zu hohe Raumbelastung ist der häufigste Fehler beim Betrieb landwirtschaftlicher Biogasanlagen

Mit der Zielsetzung einer hohen Gasausbeute für möglichst viele kWh an elektrischer Energie in Form von Stromerzeugung arbeitet der Betreiber häufig intuitiv nach dem Motto: „Viel hilft viel“. Das ist falsch! Viel Substrateintrag fördert das Wachstum der hydrolytischen Bakterien. Sie leben nun im Schlaraffenland und erzeugen so pro Zeit- und Raumeinheit mehr Säuren als die nachgeschalteten Bakterien der acidogenen und essigsäurebildenden (acetogenen) Phase zahlenmäßig verarbeiten können. Grund: Diese Organismen haben eine längere Generationszeit, sie wachsen nicht so schnell. Folglich fehlen die „Säurefresser“. Die Säuren sammeln sich an (Abb. 1). Die Biogasanlage wird sauer. Die Methanbakterien wachsen nun noch langsamer und sind in sauren Milieubedingungen inaktiv. Sie können Essigsäure ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) nicht mehr in Biogas ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ ) umwandeln. Statt einer Biogasanlage hat der Betreiber einen Produktionsreaktor für organische Säuren auf seinem Hofe stehen.

### Übersäuerung: was tun?

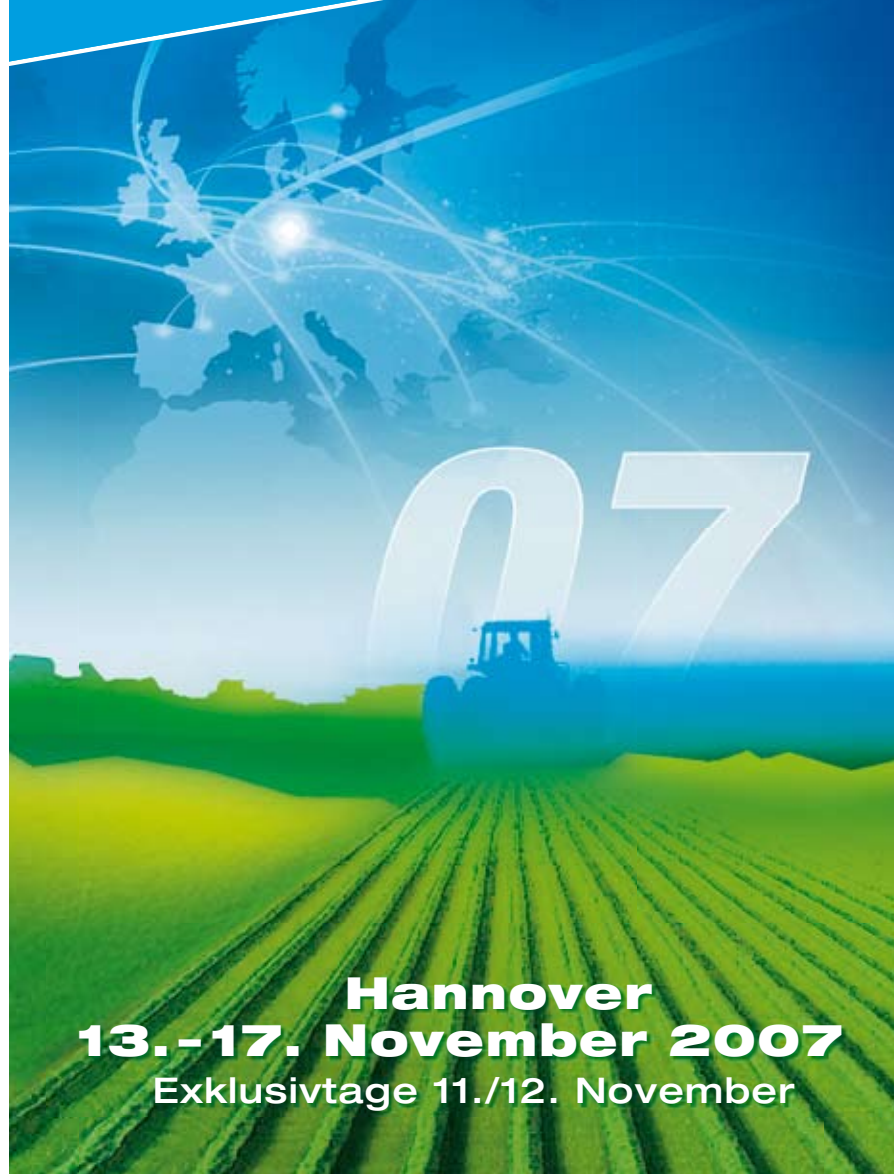
Die Soforthilfe für die Rückkehr in den stabilen Betrieb folgt einer einfachen Regel: Aufhören zu füttern. Kein weiterer Substrateintrag. Ziel ist das Ansteuern der stabilen Biozönose in der Nahrungskette. Geschickter ist es natürlich von vornherein, nicht in eine Störung hineinzulaufen. Priorität: Die im Rahmen der Pilotierung und Betriebserfahrung für einen Biogasanlagentyp experimentell ermittelte, maximale Raumbelastung nicht überschreiten. Das ist sozusagen die Zielgröße der Raumbelastung. Diese kann bei einem bestimmten Reaktortyp bei  $1 \text{ kg oTR/m}^3 \times \text{d}$  liegen, bei einem anderen Reaktorsystem bei  $5 \text{ kg oTR/m}^3 \times \text{d}$ . Fluidized bed-Reaktoren bei der Reinigung von Abwässern in der Lebensmittelindustrie erreichen auch Raumbelastungen von  $B_{R,CSB} = 30 \text{ kg /m}^3 \times \text{d}$ . Die maximale Raumbelastung hängt bei gegebenem Reaktor und sonst gleichen Bedingungen auch vom Substrat ab. Hier gilt es den Erfahrungen der Anlagenhersteller zu vertrauen und deren Vorgaben einzuhalten. Das Anfahren des Reaktors (zusammen mit dem Anlagenhersteller) hat die Erreichung dieser maximalen Raumbelastung zum Ziel.

Ein Steuerungselement zur Führung der Biogasanlage in diesem optimalen Betriebspunkt ist die Verfolgung der Fettsäuren (Abb. 2). Dies kann durch titrimetrische Bestimmung der wasserdampflichen Fettsäuren (Abb. 3), [4] als auch via FOS-/TAC-Wert, d.h. das Verhältnis der flüchtigen organischen Säuren zur alkalischen Pufferkapazität [5], geschehen. Ein Richtwert für ein akzeptables Konzentrationsniveau der

# AGRI TECHNICA

The World's No.1

Besuchen Sie die weltweit  
größte Landtechnikausstellung:  
Innovationen – Trends –  
Visionen!



**Hannover**  
**13.-17. November 2007**  
Exklusivtage 11./12. November



[www.agritechnica.com](http://www.agritechnica.com)  
Besucher-Hotline: +49 (0) 69/24788-265

- biogas
- maximale raumbelastung

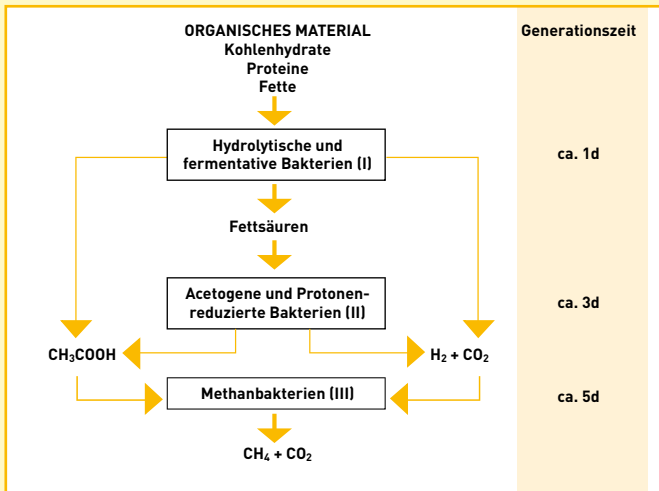


Abb. 1: Der gestufte Abbau organischer Stoffe durch anaerobe Bakterien unterschiedlicher Generationszeit mit Fettsäuren als zentrale Stoffwechselprodukte der Fresskette.



Abb. 3: Destillation der mit wasserdampflichten Fettsäuren aus einer Fermenterprobe.

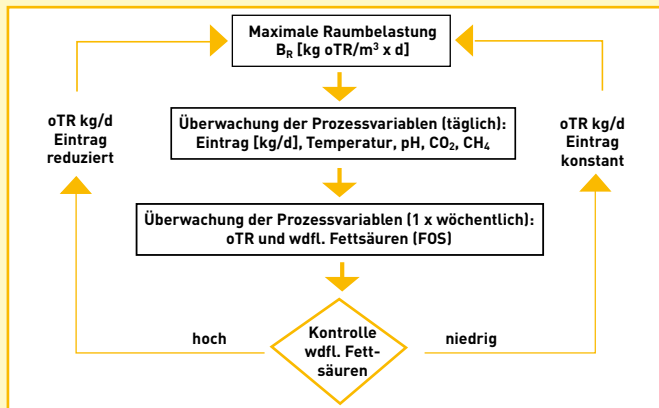


Abb. 2: Strategie für einen stabilen Biogasanlagenbetrieb bei bekannter maximaler Raumbelastung mit FOS als Stabilitätskriterium [3].

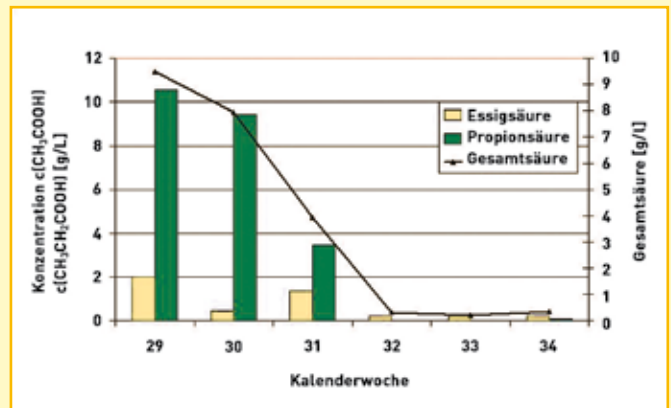


Abb. 4: Bestimmung der Profile von Essigsäure und Propionsäure mittels GC sowie Verlauf der Gesamtsäure als titrimetrische Essigsäureäquivalente im Fermenter während der Hungerphase.

wasserdampflichten Fettsäuren liegt in der Größenordnung von  $c(\text{FOS}) \approx 1.500 \text{ mg/L}$ . Bei dem chromatographisch erstellten Säurespektrum ist ein Verhältnis der Konzentrationen von Essigsäure zu Propionsäure = 3:1 akzeptabel.

Der FOS-/TAC-Wert liegt im Idealfall um 0,3. Entscheidend ist jedoch nicht der absolute Wert, sondern vielmehr die Beobachtung des Trends der individuell betrachteten Anlage. Die Orientierungsgröße ermöglicht dem Betreiber einer negativen Entwicklung auf der Stelle entgegenzuwirken. Neben der analytischen Begleitung durch ein externes Labor (8–14-tägig) ist die Einbindung von Hochschulen in Form von Diplom- und Studienarbeiten auch unter betriebswirtschaftlichen Aspekten sehr hilfreich für einen stabilen Betrieb der Biogasanlage.

## Hungerkur

Obige Überlegungen sind in Abb. 4 experimentell verifiziert. Dabei ist das Ergebnis einer mikrobiellen Heil-Fastenkur zur Rückkehr in den stabilen Betrieb der Biogasanlage dargestellt. Die Abnahme des Methangehalts im Biogas war für den Betreiber Anlass, die Raumbelastung zurückzufahren. Daraufhin sank die Konzentration der mit Wasserdampf flüchtigen Fettsäuren  $c(\text{FOS})$  von ca. 10 g/L auf unter 1 g/L. Parallel dazu änderte sich das Profil der Fettsäuren in den günstigen Bereich mit Essigsäure als Hauptkomponente. Das Ziel ist, in diesem stabilen Bereich bei minimalem analytischem Aufwand zu bleiben. Bei einer notwendigen Hungerphase sollte unbedingt das große Ganze im Auge behalten werden. Es darf nicht der momentane Gasgewinn im Vordergrund stehen, sondern der