

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 83 (2021)
Heft: 1

Artikel: Professionelle Bakterienfütterung
Autor: Hunger, Ruedi
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1082171>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Biogas-Anlagen müssen nicht zwangsläufig gross sein, auch kleinere Anlagen können effizient arbeiten. Bild: R. Mani

Professionelle Bakterienfütterung

Wer sich mit den Eigenschaften von Bakterien auskennt und diese mit viel Fingerspitzengefühl führen kann, ist der geborene Biogas-Anlagen-Betreiber. Etwas über 110 landwirtschaftliche Biogasanlagen stehen in der Schweiz. Tendenz zunehmend. Folglich ist noch Potential vorhanden. Nachfolgend einige Grundsätze zur Funktion einer Biogas-Anlage.

Ruedi Hunger

Die eigentlichen «Facharbeiter» einer Biogasanlage sind die Bakterien. Die Gas-Produktion vollzieht sich über insgesamt vier Prozessschritte (Phasen). Für jeden Prozessschritt ist eine spezifische Bakteriengruppe zuständig. Der Übergang von einem Prozessschritt zum nächsten ist aber fließend. Das heisst, an den einzelnen Umsetzungsprozessen des organischen Materials sind zwar unterschiedliche Bakteriengruppen beteiligt, die aber in stark gegenseitiger Abhängigkeit Hand in Hand arbeiten. Die Gasausschüttung aus dem Substrat wird nicht allein durch den Gasbildungsprozess be-

stimmt, biologische und technische Parameter im Anlagenbetrieb haben ebenfalls erheblichen Einfluss auf den Gasertrag. Richtwerte für die Gasausschüttung aus unterschiedlichen Substraten finden sich in der Literatur bzw. im Internet (beispielsweise im KTLB-Heft 88 «Gasausschüttung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen»).

Verfahrenstechnik

Der Fermenter, auch Bioreaktor genannt, ist das Kernstück einer Biogasanlage. Landwirtschaftliche Biogasanlagen werden meistens mit einem ein- oder zwei-

stufigen Verfahren ausgerüstet. Wie es der Name schon vermuten lässt, gibt es bei einstufigen Anlagen keine räumliche Trennung der verschiedenen Prozessphasen (siehe Phase 1–4). Folglich laufen alle Phasen in einem Behälter ab. In den letzten Jahren kann, abhängig von der Anlagengrösse, ein Trend zu zwei- oder mehrstufigen Verfahren festgestellt werden. Damit wird es möglich, die einzelnen Phasen wenigstens teilweise zu trennen und damit optimale Bedingungen zu schaffen. Damit wird der ganze gärtechnische Ablauf optimiert, allerdings zum Preis wesentlich gröss-

serer Investitionen. Folgende Arten der Fermenter-Beschickung sind üblich:

- Nassfermentation

Beim Nassvergärungsverfahren wird mit pumpenfähigen Substraten gearbeitet. Für die Nassfermentation ist Gülle prädestiniert. Feste Biomasse muss für die Nassvergärung gut zerkleinert und unter Zugabe von Gülle (Wasser) pumpbar gemacht werden. Nassfermenter sind in der Landwirtschaft der Normalfall.

- Trockenfermentation

Bei der Trockenvergärung werden stapelbare Substrate verwendet. Der Begriff Trockenfermentation ist insofern irreführend, als jede Form der Vergärung Feuchtigkeit benötigt. Bei eigentlichen Feststoffvergärungsanlagen wird stapelbarer Feststoff in den Fermenter gebracht und ohne weitere Materialbewegung vergoren. Das mit Gärflüssigkeit durchtränkte Substrat ruht während der Faulung und wird anschliessend ohne zusätzliche Bearbeitung in stapelbarer Form dem Fermenter entnommen.

- Batchverfahren (Speicherverfahren)

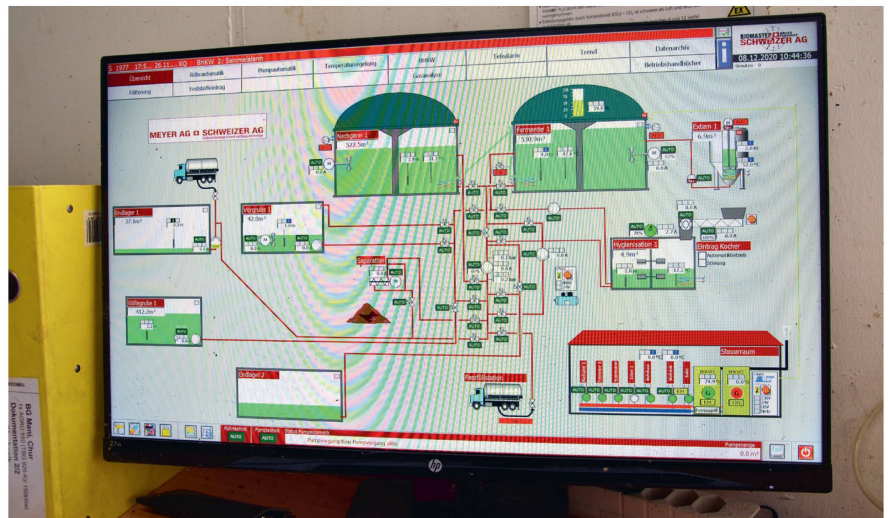
Der Faulbehälter wird auf einmal gefüllt. Die Charge (eingefüllte Menge) fault, bis zum Ende der gewählten Verweilzeit, ohne dass Substrat zugeführt oder entnommen wird. Am Ende der gewählten Verweilzeit wird der ganze Faulbehälter in einem Zug entleert. Ein Teil des Faulschlammes wird zur Einimpfung der neuen Charge genutzt. Die Gasproduktion ist ungleichmässig, wenn nicht mehrere Behälter zeitversetzt betrieben werden.

- Kontinuierliche Vergärung (Nassfermenter)

Der grösste Teil der landwirtschaftlichen Biogasanlagen arbeiten nach diesem Prinzip. Meistens mehrmals täglich (3–4 Mal) wird der Fermenter aus einem (kleinen) Vorbehälter beschickt und gleichzeitig verlässt ungefähr dieselbe Substratmenge den Fermenter, so dass dieser einen ausgeglichenen Füllstand aufweist. Die kontinuierliche Vergärung ist gut automatisierbar und weist eine relativ gleichmässige Gasproduktion auf.

Substrat als Bakterienfutter

Die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion mit einem hohen Anteil Gülle wird von der Qualität, das heisst vom Methanbildungspotenzial der Gülle bestimmt. Gülle ist grundsätzlich vorteilhaft, weil sie die biologischen Prozesse stabilisiert. Mit Gül-



Eine Bildschirmübersicht gibt Auskunft über die aktuellen Parameter der Anlage. Bilder: R. Hunger

le gelangen sowohl Makro- als auch Mikronährstoffe in den Fermenter. Diese wiederum werden von den Methanbakterien zur Umsetzung der organischen Materialien benötigt. Im Vergleich zu pflanzlichen Ausgangssubstanzen ist der Methangehalt in Biogas aus Gülle-Vergärung deutlich höher. Der Methangehalt im Gas wird bei Rindergülle mit etwa 60% angegeben, bei Schweinegülle kann der Gehalt auf bis 70% ansteigen. Begründet mit der Fütterung setzt sich Schweinegülle tendenziell schneller um als Rindergülle. Im Weiteren ist ein Zusammenhang zwischen dem Leistungsniveau der Tierhaltung und den spezifischen Methanerträgen erkennbar. Die Gründe finden sich einerseits in der Futterzusammensetzung und andererseits im Ausnutzungsgrad der Futtermittel durch das Tier. Bei konstant gleichbleibender Fütterung ist auch der Methanwert der Gülle (mit nur geringen Schwankungen) immer etwa gleich. Fütterungsumstellungen und Weidehaltung verändern die Güllequalität.

Bakterien sind die eigentlichen Facharbeiter

Die Biogasproduktion läuft nicht in einem einmaligen Vorgang ab. Dazu sind vier fließende Prozessschritte (Phasen) notwendig.

1. Phase: Hydrolyse

Beim ersten Schritt, der Hydrolyse, werden die hochmolekularen Verbindungen des organischen Ausgangsmaterials in die einzelnen Bestandteile zerlegt. Das ist notwendig, damit sie in den nachfolgenden Prozessschritten von Bakterien verarbeitet werden können. Im Klartext heisst das,

Kohlehydrate, Proteine und Fette werden biochemisch in niedermolekulare Verbindungen zerlegt. Diese Grobarbeit übernehmen hydrolytische Bakterien, die spezielle Enzyme ausscheiden und damit in der Lage sind die grossen Makromoleküle anzugreifen und in kleine wasserlösliche Moleküle aufzuspalten. Nicht alle Inhaltsstoffe lassen sich gleich gut und gleich schnell verarbeiten. Die Hydrolyse bestimmt, wie schnell der Biogasprozess abläuft. Wichtig ist, dass die eingesetzten Substrate eine gute Bioverfügbarkeit aufweisen.

2. Phase: Versäuerung

Dieser zweite Schritt wird auch «Acidogenese» genannt. Entsprechende Bakterien nehmen die vorliegenden Spaltprodukte in das Zellinnere auf, wo ein weiterer Abbau erfolgt. Es entstehen Propionsäure, Buttersäure, Valeriansäure und Milchsäure. Darüber hinaus entstehen noch andere Produkte. Der entscheidende Schritt für die spätere Methanbildung ist, dass die Bakterien den Restsauerstoff, der bei der Hydrolyse übriggeblieben ist, aufbrauchen und eine sauerstofffreie Umgebung schaffen.

3. Phase: essigbildende Phase

In der Essigsäurephase werden die der Versäuerung entstammenden Stoffe weiter umgewandelt. Die Spaltprodukte sind Essigsäure, Wasserstoff und Kohlendioxid. Die Essigsäurebildung hängt direkt mit der Methanbildung zusammen. Wasserstoff, der während der Essigsäurebildung entsteht, könnte einen grossen Teil der Bakterien hemmen, würden nicht Methanbakterien diesen augenblicklich verbrauchen. Im Gegenzug benötigen diese Bakterien

Energie, welche im Verlauf der Methanbildung freigesetzt wird.

4. Phase: methanbildende Phase

Die eigentliche Methanbildung ist der letzte Prozessschritt der Biogasproduktion. Die entsprechenden Bakterien arbeiten nur in einem absolut anaeroben Klima. Wenn auch nur kleine Mengen Sauerstoff vorhanden sind, werden methanogene Bakterien gehemmt oder sterben gar ab. Alle Arten der Methanbakterien können Kohlendioxid umsetzen, einige verarbeiten Wasserstoff und wenige Arten auch Essigsäure. Die Methanol-Verarbeitung bleibt aber nur einer Art vorbehalten. Dabei entstehen etwa 70% des Methans durch Verwertung der in Phase 3 entstandenen Essigsäure und die restlichen 30% aus Kohlendioxid und Wasserstoff.

Bakterien lieben gute Bedingungen

Ähnlich dem Menschen schätzen Bakterien ideale Lebensbedingungen, damit sie ihre Arbeit zufriedenstellend und ohne zeitlichen Verzug verrichten können. Bei tiefen Temperaturen (unter 3–4°C) überleben die Bakterien zwar, doch verzichten sie auf das Arbeiten. Folglich ist der Faulprozess stark temperaturabhängig. Je höher die Temperatur, umso schneller erfolgt der Abbau und umso höher ist die Gasproduktion. Es gibt drei typische Temperaturbereiche, in denen sich entsprechende Bakterien wohlfühlen. Es sind dies:

- Psychrophile (kälteliebende) Stämme bei Temperaturen unter 25°C
- Mesophile (mittlere Temperatur) Stämme bei Temperaturen von 25–45°C
- Thermophile (wärmeliebende) Stämme bei Temperaturen über 45°C



Damit die anfallende Wärme optimal im ganzen System genutzt werden kann, sind umfangreiche Installationen notwendig.

Der Abbauprozess kann durch Hemmstoffe verlangsamt oder ganz zum Stillstand gebracht werden. Dies ist dann der Fall, wenn mit Pflanzen und/oder Gülle Herbizidreste, Antibiotika, Desinfektionsmittel, Salze oder Schwermetalle in den Fermenter gelangen.

... und optimalen pH-Wert

Wie bei so manchem Prozess wirkt sich auch der pH-Wert im Gärmilieu auf die Aktivität der Bakterien aus. Die hydrolysierenden (erste Phase) und säurebildenden Bakterien (zweite Phase) haben ihr Aktivitätsoptimum in einem sauren Milieu von pH 4,5 bis 6,3. Essigsäurebildende Bakterien und Methanbildner vertragen nur einen neutralen bis schwach alkalischen pH-Wert

von 6,8 bis 8,0. Das unterschiedliche Aktivitätsoptimum spricht dafür, dass zwei Fermenter in Betrieb genommen werden. Dabei wird ein Fermenter thermophil gefahren und der andere im mesophilen Bereich.

Anfallende Produkte

Biomethan oder erneuerbares Erdgas (RNG) ist dem eigentlichen Erdgas ähnlich. Es ist ein CO₂-neutraler, sauberer Brennstoff und daher eine gute Alternative zu fossilen Brennstoffen. Gereinigtes Biomethan könnte auch ins Erdgasnetz eingespeist oder zu CNG (Compressed Natural Gas) verdichtet werden. Das steht aber hierzulande bei einer landwirtschaftlichen Biogasanlage nicht zur Diskussion. Das Biogas aus dem Substrat einer Biogasanlage ist noch durch verschiedene mehr oder weniger unerwünschte Bestandteile belastet. Diese müssen mit einigem Aufwand entfernt werden, damit insbesondere das BHKW (Blockheizkraftwerk) keinen Schaden nimmt.

Schmutziges Gas

Biogas ist zwar ein wertvoller Brennstoff, im Vergleich zu Erdgas hat es aber einen verminderten Brennwert und wird als «schmutziges Gas» bezeichnet. Der grösste Unterschied zwischen dem erneuerbaren Biogas und dem fossilen Erdgas besteht somit in der Herkunft. Biogas enthält 50 bis 70% Methan (CH₄), im Erdgas ist der CH₄-Anteil bei 90%. Dafür enthält Biogas zwischen 25 und 45% Kohlendioxid (CO₂). Biogas ist folglich kein reines Biomethan. Da während des Faulprozesses auch ande-



Das nach einer Erweiterung abgelöste BHKW kann weiterhin als Zusatz- oder Reserve-Aggregat genutzt werden.



Das BHKW wird oft als Herzstück einer Biogas-Anlage bezeichnet.

re Komponenten wie Kohlendioxid, Luft, Schwefelwasserstoff (H_2S), Wasserstoff (H_2), flüchtige organische Komponenten und Siloxane¹⁾ entstehen.

Für die Aufwertung auf das Niveau von Erdgas werden verschiedene Technologien eingesetzt, um die unerwünschten Bestandteile herauszufiltern. Beispielsweise Aminwäsche, Druckwechselabsorption, Wasserwäsche, organisch-physikalische Wäsche, kryogene Destillation und die mehrstufige Membrantrennung. Jede Technologie hat unterschiedliche Eigenschaften und Wirkungsgrade.

Biogas-Reinigung zu Erdgasqualität

Wie bereits erwähnt, gilt Biogas vorerst als schmutziges Gas, das von bestimmten unerwünschten Bestandteilen gereinigt werden muss. Dazu gibt es unterschiedliche Verfahren:

- **Aminwäsche**

Eine chemische Waschlösung bindet das CO_2 und trennt es vom Gas. Das Funktionsprinzip ist eine chemische Absorption²⁾. Dazu durchströmt das CO_2 die Waschkolonnen von unten nach oben. Die Waschlösung wird gegenläufig von oben verrieselt. Die Waschlösung wird unten aus der Waschkolonnen entzogen, regeneriert und erneut dem Prozess zugeführt. Der Methanschlupf liegt bei $<0,1\%$ und die Biomethan-Reinheit $>99\%$.

- **Membran-Technologie**

Im Membran-Reinigungssystem werden in einem Vorreiniger Feuchtigkeit, Schwefel-

wasserstoff und andere Verunreinigungen herausgefiltert. Schwefelwasserstoff wird mit einem Aktivkohlefilter aus dem Biogas entfernt. Wasser wird entfernt, indem das Biogas mit einem Kühler auf ungefähr $5^\circ C$ abgekühlt wird. Anschliessend wird das Gas auf den erforderlichen Druck zur Aufbereitung im Membransystem komprimiert. Die Membranen bestehen aus Hochleistungskunststoffen auf Polyamidbasis. Unter Druckbeaufschlagung (Prozessdruck 10–16 bar) halten die Membranen das Methan zurück, das CO_2 kann diese hingegen durchdringen. Die Membran-Separation erfolgt üblicherweise dreistufig. Die Wärme aus der Trocknung des Kompressors und des Kühlers kann mit einem Wärmerückgewinnungssystem zurückgewonnen werden.

Die eingesetzte Membran-Technologie ist dreistufig und hat einen sehr niedrigen Methanschlupf ($<0,5\%$). Das Funktionsprinzip ist die physikalische Permeation³⁾.

Eine weitere Ausbaustufe besteht aus der Rückgewinnung und Verflüssigung von CO_2 . Das flüssige CO_2 hat Lebensmittelqualität.

- **Wasserdampf**

Biogas enthält verhältnismässig viel Wasserdampf. Damit sich kein schädliches Kondensat bildet und um die BHKW-Effizienz zu erhöhen, muss der Wasserdampf durch Trocknung entzogen werden. Dies geschieht durch Absenken der Gas-Temperatur auf den Taupunkt. Durch diesen Prozess kondensiert die Feuchtigkeit und kann abgeführt werden.

Nährstoffreiche Vergärungsprodukte

Für die Weiterverwertung der Vergärungsprodukte, sprich «Biogas-Gülle», gibt es in den «Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz» (GRUD 2017) klare Richtlinien. Entscheidend ist die Herkunft der Frischsubstanz. Gärgut aus landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen gilt als Recyclingdünger, wenn die Hofdünger mit mehr als 20% Material aus nicht landwirtschaftlicher Herkunft vergoren werden. Dies ist auch der Grenzwert für die Verwendung von «Biogas-Gülle» auf Bio-Betrieben. Bestimmt durch das Ausgangsmaterial können die Nährstoffe im Gärgut stark schwanken. Generell ist der Stickstoffgehalt in der Biogas-Gülle höher als in unvergorener Gülle. Die Anwendung wird wegen der besseren Flieseigenschaften einfacher und eine Geruchsbelastung ist kaum vorhanden. Analysen vereinfachen eine optimale Düngung.

Fazit

Allein schon die Tatsache, dass vier Gärphasen in einem oder zwei Behältern unter engen Bedingungen ablaufen, zeigt, dass das Betreiben einer Biogasanlage viel Fingerspitzengefühl erfordert. Für den wirtschaftlichen Erfolg einer Biogasanlage sind viele Faktoren verantwortlich. Die hohen Investitionen rechnen sich nur, wenn bereits bei der Planung alles richtig gemacht wurde und die Anlage von Anfang an wirtschaftlich geführt werden kann.

1) Siloxane werden bei der Verbrennung (z. B. im BHKW) zum Problem, weil festes Siliciumoxid (Sand) entsteht, was zum Verschleiss der bewegten Teile führt.

2) Absorption: Chemischer Prozess der Aufnahme oder des Lösen eines Atoms, Moleküls oder Ions.

3) Permeation: Vorgang, bei dem ein Stoff einen Festkörper durchdringt oder durchwandert (Wikipedia).

Quellen und Literatur

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft KTBL, Darmstadt (D), www.ktbl.de

- KTBL-Heft 88: «Gasaussteute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen»
- KTBL-Heft 97: «Clever Landwirte geben Gas»
- Biogas Ratgeber «Joule»
- Halbmil Biogas GmbH Chur