

# Grundlagen der (anaeroben) Biogaserzeugung

Anselm J. Gleixner, Geschäftsführender Gesellschafter der INNOVAS GbR, München

Die Biogasbildung ist im Wesentlichen ein vierstufiger Abbauprozess von organischen Substanzen zu Wasser und Biogas. Der Abbau erfolgt durch Mischkulturen fakultativ anaerober (sowohl mit, als auch ohne Sauerstoff lebend) und anaerober (also strikt ohne Sauerstoff lebend) Mikroorganismen, wie z.B. Bakterien, Schimmelpilze und Einzeller, im wässrigen Milieu. An jedem Abbauschritt sind andere Mikroorganismen beteiligt und die jeweilige Gruppe kann immer nur die in der vorherigen Phase gebildeten Zwischenprodukte weiter verwerten.

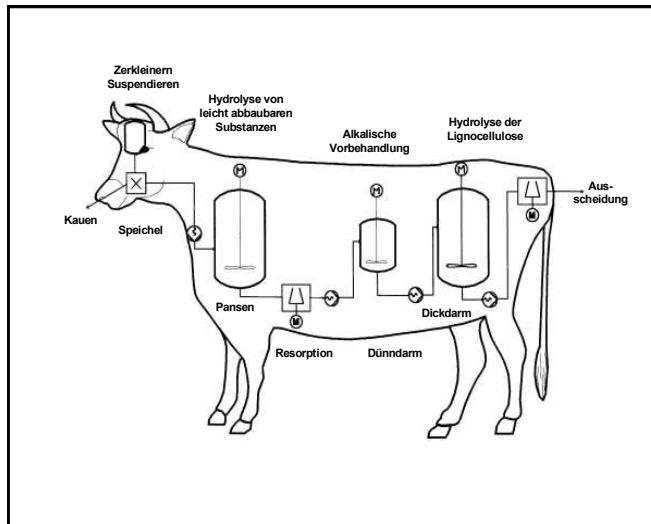


Abbildung 1 - Hydrolyse analog zur Verdauung im Wiederkäuer

Die TU München-Weihenstephan, Lehrstuhl für Energie- und Umwelttechnik in der Lebensmittelindustrie hat die Vorgänge sehr anschaulich mit der „Weihenstephaner Kuh“ dargestellt.

Die Abläufe in einer Biogasanlage entsprechen in vergleichbarer Weise dem Verdauungsprinzip von Wiederkäuern.

Nur, dass beim Tier eher die Produktion von Propionsäure (C-3) im Vordergrund steht und für die Methanbildner in der Biogasanlage die organischen Stoffe bis zur Essigsäure (C-2) reduziert werden müssen.

Auch der Abbaugrad der zugeführten Biomasse ist im Tier nicht maximal und darf auch nicht maximal sein, ansonsten würde das „Transportsystem“ im Darm des Tieres nicht funktionieren. Soll die Biogasanlage genau so perfekt funktionieren wie der Versäuerungsapparat im Wiederkäuer, so muss man die wichtigsten Verfahrensschritte kennen und anlagentechnisch nachbilden. Das ist eine wesentliche Voraussetzung für eine hohe Abbau- und Biogasleistung und deshalb unabdingbarer Bestandteil unserer Biogasanlagen.

Für die Biogaserzeugung sind im Wesentlichen die Stoffinhaltsgruppen der Fette (Lipide), Eiweiße (Proteine) und Kohlenhydrate brauchbar, wohingegen Lignin nicht anaerob abbaubar ist. Deshalb wird man aus Rohfaser, deren Ligninhülle stabil ist, kein Biogas gewinnen können.

Temperatur	Mesophil / Thermophil	35 - 40 °C / 52 - 55 °C
pH - Wert	Hydrolyse / Versäuerung Methanisierung	4 (5) - 6 6,8 - 7,5
Nährstoffverhältnis C:N:P:S: = 2000:15:5:3		
möglichst hohe Substratkonstanz		
möglichst gute Substrathomogenität		
laminare Strömungsverhältnisse		
keine Auswaschung von Mikroorganismen		

Tabelle 1 - die optimalen Bedingungen für den Biogasprozess

Neben Kohlenstoff benötigen die Mikroorganismen für ihren Stoffwechsel auch andere Nährstoffe und Spurenelemente, die in aller Regel in den zur Vergärung kommenden Biomassen in ausreichender Menge vorhanden sind. Kommt es dennoch bei reiner Monovergärung zu Mangelerscheinungen kann dem durch gezielte Zugabe der fehlenden Stoffe sehr leicht entgegen gewirkt werden.

Das Stoffwechselprodukt der Bakterien im Fermenter ist das von uns gewünschte Biogas - ein Gemisch aus hauptsächlich Methan (bei NaWaRo ca. 60 - 70 % CH<sub>4</sub>) und Kohlendioxid (30 - 40 % CO<sub>2</sub>). Der Anteil an Spurengasen ist < 1% und kann deshalb vernachlässigt werden. Schädlicher Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) kann einfach durch Zugabe geringer Mengen an Luft auf biologischem Weg reduziert werden.

Die Gasbildung und der Gehalt an CH<sub>4</sub> (Gasqualität) ist zwingend von der Materialzusammensetzung abhängig. Kennt man die Zusammensetzung, so kann man die theoretisch erzielbare Biogasmenge und deren CH<sub>4</sub> - und CO<sub>2</sub> - Gehalt anhand der Buswell-Formel berechnen. Der Einfachheit halber haben wir die mögliche Gas- und Methanbildung in folgender Tabelle zusammengefasst.

Inhaltsstoffe / Grundsubstanzen	stöchiometrische Biogausausbeute (Liter Biogas / kg OTS abgebaut)	ca. Methangehalt im Biogas (% im Biogas)
Fette	1.400 l/kg (1,4 m <sup>3</sup> /kg)	80 .. 90 %
Eiweiß / Proteine	600 .. 900 l/kg (0,6 .. 0,9 m <sup>3</sup> /kg)	75 .. 80 %
Kohlenhydrate	700 .. 800 l/kg (0,7 .. 0,8 m <sup>3</sup> /kg)	50 .. 60 %

Tabelle 2 - Gasausbeute aus zugeführter Organik

Mit diesen Zahlen und mit bekannter Zusammensetzung des Gärsubstrates kann man die Biogasmenge und somit die gewinnbare Energiemenge vorabschätzen.

Bei der Hydrolyse entsteht ebenfalls Gas als Ausscheidprodukt der Mikroorganismen. In erster Linie CO<sub>2</sub> und vor allem der größte Anteil des ungewünschten Schwefelwasserstoffes H<sub>2</sub>S. Das Hydrolysegas ist energetisch wertlos, hat aber einen sehr üblen Geruch.

In einer zweistufigen Biogasanlage kann man das Hydrolysegas separat erfassen, in einen Biofilter einleiten und dort so weit abreinigen damit keine Geruchsbelästigung der Umgebung entsteht. Durch die separate Erfassung des Hydrolysegases ist die Biogasqualität in zweistufigen Anlagen immer besser gegenüber einstufigen Biogasanlagen, weil dort das Hydrolysegas zwangsweise mit dem in der Methanisierungsphase gebildeten Biogas vermischt ist.

Die zweistufige Betriebsweise einer Biogasanlage bietet auch hinsichtlich der Stabilität der Biologie und somit dem Abbauprozess enorme Vorteile. Betrachtet man die nachfolgende Abbildung der Abbauphasen so wird verständlich, dass alle Abbauschritte, die ja trotz Ihrer unterschiedlichen Milieubedingungen aufeinander abgestimmt sein müssen, in einem optimalen Gleichgewicht ablaufen müssen.

Das bedeutet in der Regel bei einstufigen Biogasanlagen verhältnismäßig lange Verweilzeiten um zu gleichen Abbauleistungen wie bei einer zweistufigen Anlage zu kommen. Wird z.B. einer einstufigen Biogasanlage leicht und schnell hydrolysierendes Substrat zugeführt, kann das die Methanisierung durch Absinken des pH-Wertes stören und es kann sehr leicht zum vollständigen Erliegen der Biologie kommen. Man spricht dann vom „Übersäuern“ einer Anlage.

Anders ausgedrückt darf man einer einstufigen Biogasanlage nur so viel an frischer Biomasse zuführen, dass die Hydrolyse und die Methanisierung in einem Gleichgewicht im gleichen Raum ablaufen können.

Trennt man hingegen die beiden Hauptphasen räumlich voneinander in eine zweistufige Biogasanlage, so kann jede Phase in ihrem Optimum betrieben werden, denn es ist wesentlich unproblematischer ein biologisches Gleichgewicht unter Symbionten herzustellen, als das bei unterschiedlichen Milieuanforderungen der Fall ist. Die Zwischenprodukte der Hydrolyse sind die Vorprodukte für die Methanisierung.

Somit kann eine zweistufige Biogasanlage bei kürzeren Verweilzeiten die höchsten Abbauleistungen erreichen.

Wird allerdings hauptsächlich oder überwiegend Rindergülle vergoren, so macht eine zweistufige Fahrweise weniger Sinn, denn der Hydrolysevorgang fand ja bereits im Verdauungssystem des Tieres statt.

Je besser die Mikroorganismen an die eingesetzten Substrate adaptiert sind und je besser die optimalen Milieubedingungen der Mikroorganismen erreicht werden, um so schneller, vollständiger und zuverlässiger läuft der Prozess ab.

In den ersten beiden Schritten, der Hydrolyse und Versäuerung (Acidogenese) werden die komplexen Polymere in ihre Monomere zerlegt. Die Kohlenstoffketten werden von den unterschiedlich daran beteiligten Mikroben in immer kürzerkettige Verbindungen geteilt, d.h. zu immer kleiner werdenden Teilchen abgebaut. Weil das Gärsubstrat dadurch dünnflüssiger wird, spricht man von der Hydrolyse.

Die Zwischenprodukte nach der Acidogenese sind in erster Linie flüchtige, freie Fettsäuren, Alkohole,  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$ .

Die hydrolysierenden Bakterien und Mikroorganismen sind anfangs fakultativ anaerob und leben in enger Symbiose mit den versäuernden Bakterien zusammen und deshalb kann man diese beiden Abbauphasen räumlich zusammen fassen, wie es in zweistufigen Biogasanlagen auch getan wird.

Die Hydrolyse ist i.d.R. der limitierende Faktor der Biogasbildung.

Optimal für den Hydrolyse- und Versäuerungsprozess ist eine Temperatur von 30 - 40 Grad Celsius.

Das ausreichend vorgesäuerte Substrat kann nun in den nächsten beiden Prozessschritten, der Acetogenese und Methanogenese weiter abgebaut werden. Auch in diesen zwei Phasen ist es so, dass die beteiligten Mikroben in enger Symbiose leben und deshalb in der strikt anaeroben Methanstufe zusammengefasst werden sollten.

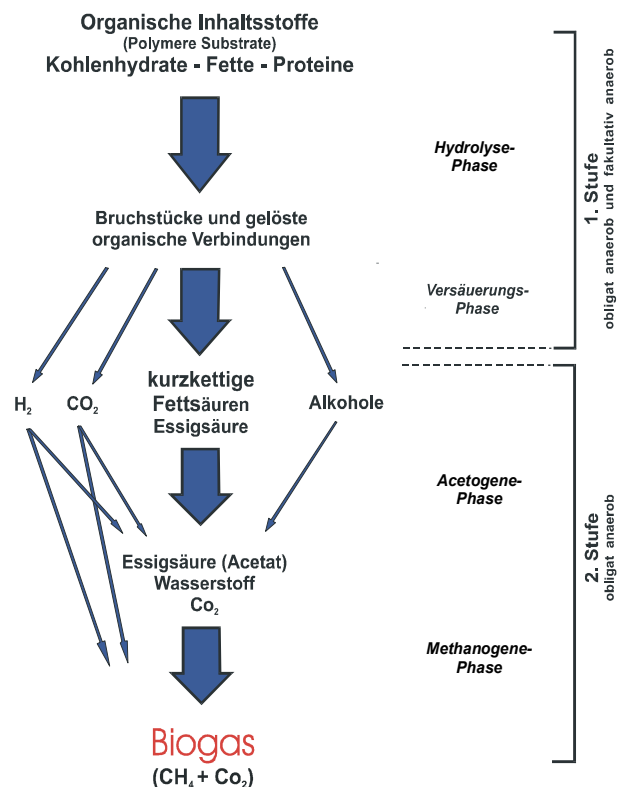


Abbildung 2 - die anaeroben Abbauphasen

Die Methanbildenden Bakterien zählen zu den ältesten Lebewesen unserer Erde (Spezies Archaeen) und haben einen sehr spezialisierten Stoffwechsel. Sie wachsen sehr langsam und reagieren äußerst empfindlich auf Veränderungen in den Milieubedingungen, wie Temperatur und pH Wert.

Der optimale pH-Wert für die Methanisierung liegt zwischen 6,8 und 7,6 (bei pH-Werten über 8 sollte man den Prozess untersuchen, denn das kann durch eine erhöhte Anreicherung von Ammonium hervorgerufen werden und diese kann wiederum toxisch für den Prozess wirken).

Die Methanisierungsstufe kann grundsätzlich mesophil, d.h. zwischen 35 - 40 °C, aber auch thermophil mit 52 - 55 °C gefahren werden

Aber: entweder oder, ein sowohl als auch geht nicht (!).

Wir bevorzugen den mesophilen Bereich, weil dieser wesentlich stabiler und weniger störungsanfällig (Körpertemperatur der warmblütigen Lebewesen !) als der thermophile Bereich ist.

Der Vorteil bei der thermophilen Fahrweise ist, dass der gleiche Abbau in etwas kürzerer Zeit stattfindet. Es kann aber nicht mehr Biogas gebildet werden als Kohlenstoff zur Verfügung gestellt wird und nicht hydrolysiertes Material kann auch thermophil nicht weiter abgebaut werden.

Ein weiterer Vorteil kann in einer besseren Pasteurisierung des ausgefaulten Substrates gesehen werden.

Aber das ist für viele Biogasanlagen, z.B. für nachwachsende Rohstoffe nicht von Belang.

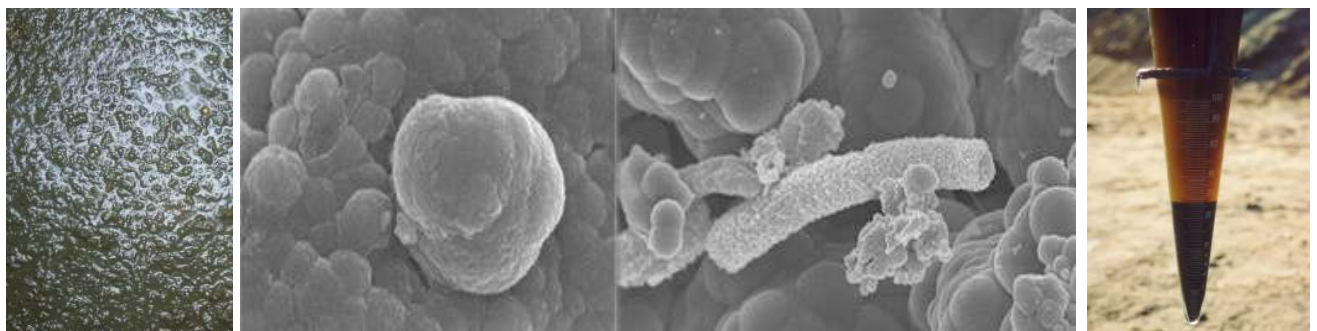


Abbildung 3 - die Archaeen sind kugel- und stabförmig, In einer guten Biogasanlage erreicht man einen Abbaugrad von >85 %