

Unterrichts- und Lernmaterialien geprüft vom PARSEL-Konsortium
im Rahmen des EC FP6 geförderten Projekts: SAS6-CT-2006-042922-PARSEL

Kooperierende Institutionen und Universitäten des PARSEL-Projekts:



Anregungen für Schülerinnen und Schüler:

Chemie (in) der Extra_Klasse: Erneuerbare Energien “Mein iPod läuft mit Kuhmist!”

Ein Modul für den naturwissenschaftlichen Unterricht – insbesondere für den Unterricht
im Fach Chemie – der Jahrgangsstufen 10 bis 13



Zusammenfassung

Im PARSEL-Modul „**Erneuerbare Energien – Mein iPod läuft mit Kuhmist!**“ beschäftigt ihr euch mit der Frage, wie Biogas hergestellt wird, und inwiefern die Herstellung von Biogas als eine Alternative zur herkömmlichen Energiegewinnung (z.B. aus fossilen Energieträgern) genutzt werden könnte. In Gruppen werdet ihr Biogas synthetisieren. Danach werdet ihr – in einer weiteren Gruppenarbeit – den Heizwert von Biogas in Experimenten bestimmen. Außerdem könnt ihr die Explosionsfähigkeit eines Methan-Luft-Gemisches systematisch untersuchen. Die Produkte, die bei der Verbrennung von Biogas entstehen, werdet ihr qualitativ und/oder quantitativ bestimmen. Die Ergebnisse der Heizwertbestimmung und die der qualitativen und/oder quantitativen Analysen, die ihr selbst durchgeführt habt, werdet ihr mit den Analyseergebnissen anderer Energiequellen (z.B. den Heizwerten) vergleichen. Diese Vergleiche sind für die Beantwortung der obigen aufgeführten Fragestellung wichtig; sie können als eine Grundlage für sachgerechtes Urteilen herangezogen werden.

Chemie (in) der Extra_Klasse: Erneuerbare Energien “Mein iPod läuft mit Kuhmist!”

Gasförmige Biomasse - Energiebereitstellung durch Biogas

In einer Biogasanlage wird aus pflanzlicher und tierischer Biomasse (v. a. Gülle) durch Vergasung Biogas gewonnen. Die Vergasung beruht auf einem Gärprozess. Dabei handelt es sich um einen technisch gezielt gesteuerten Prozess. Gärprozesse kommen aber auch in der Umwelt, z.B. in Seen oder Sümpfen, natürlich vor. Biogas besteht hauptsächlich aus Methan und kann zur Energiebereitstellung in vielfältiger Form genutzt werden.

1. Biogasbereitstellung

1.1 Methangärung

In einer Biogasanlage herrschen anaerobe Bedingungen (Sauerstoffmangel) vor. Die Vergasung von Biomasse geschieht durch den so genannten Prozess der Methangärung.

Dabei werden die in der Biomasse enthaltenen hochmolekularen organischen Substanzen unter anaeroben Bedingungen in mehreren Stufen zu wenigen niedermolekularen Stoffen abgebaut. Als Endprodukt des ungefähr dreiwöchigen Gärprozesses entsteht vorwiegend Methan.

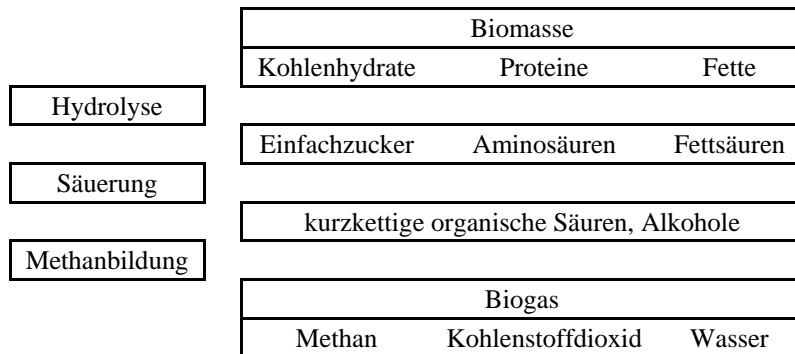
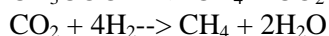
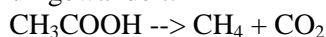


Abbildung 1: Stufen der Gärung von Biomasse

Die Methangärung lässt sich in folgende drei Stufen untergliedern:

- **1. Stufe: Hydrolyse:** Die Biomasse besteht aus verschiedenen Makromolekülen, wie z.B. Kohlenhydraten, Proteinen, Fetten. Diese Makromoleküle werden von besonderen Bakterien (fermentativen Bakterien) zu kleineren Monomeren wie Zuckern, Aminosäuren und Fettsäuren umgesetzt.
- **2. Stufe: Säuerung:** Nach der Hydrolyse schließt sich die Versäuerungsphase an. Hier werden die Substanzen mit Hilfe von säurebildenden Bakterien zu Säuren (vorwiegend Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure) und Alkoholen, aber auch zu Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff vergoren. Gleichzeitig werden Stickstoff- und Schwefelverbindungen zu Ammoniak und Schwefelwasserstoff umgesetzt. Dieser Vorgang erfolgt, bis die Bakterien durch ihre eigenen Abbauprodukte in ihrem Abbauprozess gehemmt werden (niedriger pH-Wert).
- **3. Stufe: Methanbildung:** In der dritten Phase erfolgt die Methanbildung durch methanbildende Bakterien. Essigsäure wird durch Methanbakterien zu Methan und Kohlenstoffdioxid umgebaut und Kohlenstoffdioxid wird zu Methan und Wasser umgewandelt:



Das entstandene Biogas enthält durchschnittlich ca. 70 % Methan und zusätzlich noch rund 30% Kohlenstoffdioxid sowie weitere Spurengase.

Die exakten Abläufe bei den einzelnen Reaktionsstufen sind noch nicht genau erforscht worden.

Man unterscheidet drei Temperaturbereiche, in denen die anaeroben Bakterien ihre Abbautätigkeit entwickeln: psychrophiler Bereich: $< 20^{\circ}\text{C}$; mesophiler Bereich: $20^{\circ}\text{-}45^{\circ}\text{C}$; thermophiler Bereich: $45^{\circ}\text{-}70^{\circ}\text{C}$. Eine Vielzahl der Biogasanlagen arbeitet im mesophilen Temperaturbereich, da hier ein Großteil der Methanbakterien seinen optimalen Temperaturbereich hat. Grundsätzlich gilt, dass bei höheren Temperaturen die Abbaugeschwindigkeit größer ist. Die benötigte Wärme wird zum einen durch den Prozess selbst bzw. durch eine externe Heizung zur Verfügung gestellt

1.2 Gärrückstand

Nach dem Gärprozess bleibt im Faulbehälter der Gärrückstand zurück, der flüssiger und homogener ist als das Anfangssubstrat. Er weist einen erhöhten mineralischen Anteil auf, da die organische Substanz vorwiegend zu Gas vergoren worden ist. Weiterhin befinden sich noch schwer abbaubare Kohlenstoffverbindungen im Gärrückstand.

Der Rückstand wird in der Regel durch Ausbringung auf Felder dem natürlichen Kreislauf wieder zurückgeführt, sofern keine unzulässige Belastung mit Schadstoffen vorliegt. Einerseits werden somit mineralische Dünger eingespart und zum anderen sorgen die schwer abbaubaren Kohlenstoffverbindungen, durch die Rückführung organischer Substanz in den Boden, für eine längerfristig anhaltende gute Bodenqualität.

1.3 Kofermentation

In landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird häufig Gülle (z.B. Rinder-, Schweine- oder Geflügelgülle) vergoren. Zusammen mit der Gülle als Grundsubstrat kann noch weitere Biomasse vergoren werden. Das gemeinsame Vergären unterschiedlicher Biomasse wird als Kofermentation bezeichnet.

Neben der Biogaserzeugung in der Landwirtschaft kann Biogas auch in der Agroindustrie (u.a. mit Rest- und Abfallstoffen) und in der kommunalen Entsorgungswirtschaft (u.a. mit Klärschlamm) erzeugt werden.

2. Zusammensetzung Biogas

Die Zusammensetzung des Biogases variiert je nach Gärsubstraten und individuellem Reaktionsprozess. Dabei enthält das entstehende Biogas durchschnittlich folgende Bestandteile:

Bestandteil	Konzentration [Vol.-%]
Methan (CH_4)	50 bis 75
Kohlenstoffdioxid (CO_2)	25 bis 45
Wasser (H_2O)	2 (20°C) bis 7 (40°C)
Schwefelwasserstoff (H_2S)	20 bis 20 000 ppm (2 Vol.-%)
Stickstoff (N_2)	< 2
Sauerstoff (O_2)	< 2
Wasserstoff (H_2)	< 1

Abbildung 2: Zusammensetzung von Biogas (Quelle: Kaltschmitt 2001)

Methan

Methan ist ein farb- und geruchloses Gas mit einer geringeren Dichte als Luft. Es ist das einfachste Alkan und der einfachste Kohlenwasserstoff. Das Gas ist schon den Alchemisten als Fäulnisgas unter dem Namen Sumpfluft bekannt gewesen. Methan entstammt vielfältigen natürlichen Quellen auf der Erde, wird aber auch durch menschliches Wirtschaften (Reisanbau etc.) verstärkt gebildet. Methan ist brennbar und Hauptbestandteil von Biogas. Es bildet zwischen einem Luftvolumenanteil von 5 bis 15 Prozent explosive Gemische. Explosionsgefahr besteht insbesondere in geschlossenen und schlecht durchlüfteten Räumen.

Wasser

Wasser fällt im Biogas vorwiegend als Wasserdampf an. Durch Abkühlung kondensiert es, und kann in den Leitungen zu Verstopfungen und zu Korrosion führen. Um dieses zu verhindern, haben die Leitungen ein Gefälle, damit sich das Kondensat in so genannten Kondensatabscheidern abscheiden kann.

Schwefelwasserstoff

Schwefelwasserstoff ist ein farbloses, leicht brennbares Gas, das bereits durch seinen typischen Geruch („faule Eier“) erkannt werden kann. Bereits das Einatmen geringer Mengen Gas kann tödlich sein.

Schon bei geringen Konzentrationen im Biogas wirkt es korrosiv. Alle mit dem Gas in Berührung kommenden Teile (Wandungen, Leitungen, Motoren, Kamine etc.) müssen aus korrosionsbeständigen Materialien, wie rostfreiem Stahl oder Glas, bestehen. Biogas kann durch unterschiedliche Entschwefelungsverfahren entschwefelt werden:

- Biologische Entschwefelung per Biofilter/Biowäscher: Mikroorganismen oxidieren den Schwefelwasserstoff zu reinem Schwefel.
- Entschwefelung durch Luftsauerstoff: Bereits sehr geringe Mengen an Luftzufuhr sorgen dafür, dass der Sauerstoff den Schwefelwasserstoff zu elementarem Schwefel oxidiert.

Kohlenstoffdioxid

Kohlenstoffdioxid ist ein farbloses und geruchloses Gas. Es gehört zur Gruppe der Kohlenstoffoxide. Kohlenstoffdioxid kann sich im Kondensat des Biogases lösen und bildet mit dem Wasser Kohlensäure. Eine zunehmende Versauerung des Kondensats führt zu einer verstärkten Korrosion metallischer Anlagenteile.

Kohlenstoffdioxid muss für die thermische Verwertung von Biogas nicht entfernt werden. Für andere Anwendungsmöglichkeiten allerdings, wie z.B. eine Einspeisung in das Erdgasnetz oder die Nutzung als Treibstoff, muss es zur Qualitätssicherung bzw. Volumenreduktion entfernt werden.

2.1 Biogasausbeute

Die Biogasausbeute ist nicht nur abhängig vom eingesetzten Gärsubstrat, sondern sie ist auch von den jeweils vorherrschenden Anlagenbedingungen (Betriebsweise, Temperatur, Verweilzeit etc.) abhängig. Deshalb können die Angaben für die Gasausbeute verschiedener Substrate erheblich schwanken.

In der folgenden Abbildung sind die Gaserträge je Tonne eingebrachtes Substrat für verschiedene Substrate dargestellt:

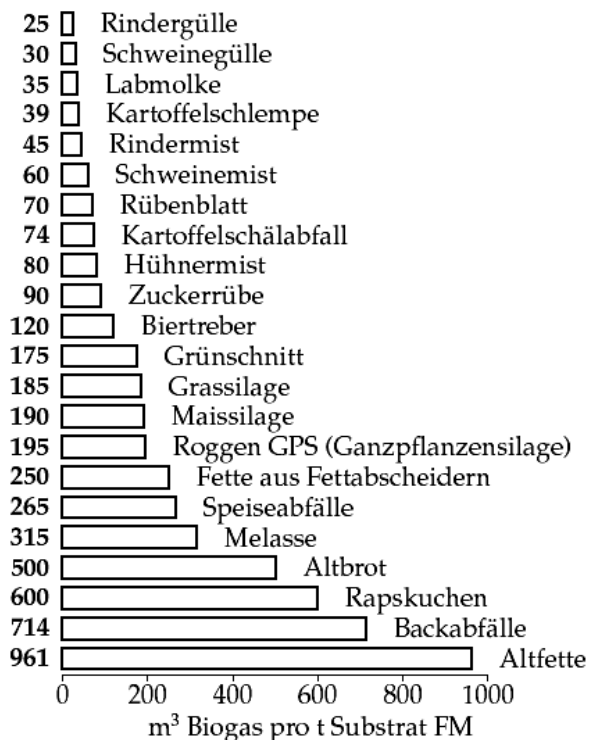


Abbildung 3: Biogasausbeute verschiedener Substrate (Quelle: FNR 2005)

2.2 Energiegehalt von Biogas

Der Energiegehalt von Biogas ist direkt vom Methananteil im Biogas abhängig. Ein Kubikmeter Methan hat einen Heizwert von fast 10 kWh (9,994 kWh). Ein Kubikmeter eines Biogases mit einem Methananteil von 55 % besitzt dann den energetischen Nutzen von ca. 5,5 kWh. Ein Kubikmeter Biogas besitzt ein Heizöläquivalent von ca. 0,6 l Heizöl.

3. Komponenten einer Biogasanlage

Landwirtschaftliche Biogasanlagen bestehen aus einer **Vorgrube**, in der die Gülle gelagert wird, einem **Faulbehälter** (z. T. aus einem Hauptfaulbehälter und einem Nachfaulbehälter) und einem Lager für den Gärückstand.

Je nach Art der eingesetzten Gärsubstrate gehört zusätzlich noch ein **Annahmebereich** dazu, der z.B. mit einer Zerkleinerungsanlage, einer Störstoffabtrennung und einer Hygienisierung (Keimabtötung durch Erhitzen des Kosubstrats) ausgestattet ist.

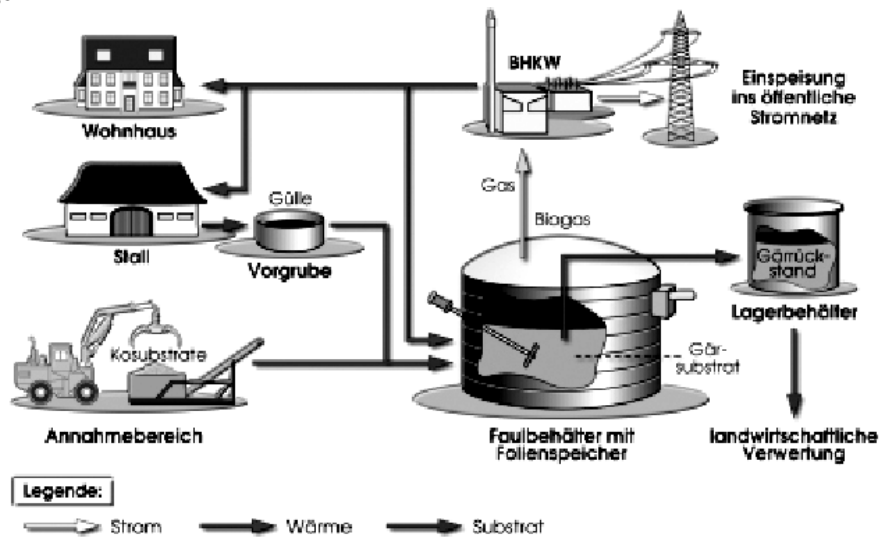


Abbildung 4: Komponenten einer Biogasanlage (Quelle: FNR)

Das entstehende Gas wird in einem **Gasspeicher** gelagert, der sich häufig oberhalb des Faulbehälters in Form eines Folienspeichers befindet. Eventuell erfolgt noch eine Gasreinigung, bevor das Biogas, z.B. in einem Blockheizkraftwerk (BHKW), zu Strom umgewandelt wird.

4. Konzepte zur Energiebereitstellung aus Biogas

Aus Biogas kann sowohl Wärme als auch Strom bereitgestellt werden:

- Zur Wärmebereitstellung kann Biogas in Feuerungsanlagen verbrannt werden. Fast alle herkömmlichen Anlagen können auf Biogasbetrieb umgerüstet werden.
- Zur Strombereitstellung wird Biogas zunächst in Verbrennungsmotoren verbrannt und in mechanische Energie umgewandelt. Diese wird dann mit Hilfe eines Generators in Strom umgewandelt. In Benzinmotoren wird das zündfähige Luft-Gas-Gemisch mit einem Funken gezündet. Dieselmotoren funktionieren mit einer Selbstzündung. Hier muss daher neben dem Biogas noch ein zusätzlicher Brennstoff mit niedriger Zündtemperatur (z.B. Dieselöl) eingesetzt werden. Bei diesen Motoren handelt es sich um so genannte Zweibrennstoff-Motoren. Hier wird das Luft-Gas-Gemisch vom Motor angesogen, verdichtet und durch das Einspritzen von ca. 8-12 % Dieselkraftstoff entzündet.
- Biogas kann in Blockheizkraftwerken auch zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme eingesetzt werden. Bei geringer Wärmenachfrage in den Sommermonaten kann durch die Stromeinspeisung in das Netz eine stetige Ausnutzung des anfallenden Biogases ermöglicht werden.

Weiterhin kann Biogas auch in ein vorhandenes Gasnetz eingespeist werden, wenn das Biogas von den unerwünschten Bestandteilen gereinigt worden ist. Biogas kann auch als Kraftstoff genutzt werden. Mit Benzin betriebene Fahrzeugmotoren können so angepasst werden, dass sie sowohl mit Benzin als auch mit (gereinigtem) Biogas betrieben werden können.

5. Vorteil der anaerob vergorenen Gülle gegenüber konventionell gelagerter Gülle

(++ großer Vorteil, + Vorteil, +/- Vor- und Nachteil)

Problemkreis	Wirkung	Problemkreis	Wirkung
Geruchsemission	++	Entmischung	+
Verätzung bei Pflanzen	++	Stickstoffverfügbarkeit	+
hygienische (Un-)Bedenklichkeit	++	Unkrautsamen	+(+)
Nitratauswaschung	++	Ammoniakausgasung	+/-
Futterqualität Grünland	+	Methanausgasung	++
Gülleüberschuss	+	Lachgasfreisetzung	++
Absatzchancen	+(+)	Homogenität beim Ausbringen	++

Abbildung
5: Vorteile
anaerob
vergorener
Gülle
(Quelle:
Kaltschmitt
2001)