

## >>> BIOGAS

**Biogas** ist ein brennbares Gas, das durch Vergärung von Biomasse in Biogasanlagen hergestellt wird und zur Erzeugung von Bioenergie verwendet wird. Vor der Aufbereitung ist es eine wassergesättigte Gasmischung mit den Hauptkomponenten Methan (CH<sub>4</sub>) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). In geringen Mengen sind meist auch Stickstoff (N<sub>2</sub>), Sauerstoff (O<sub>2</sub>), Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S), Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) enthalten. Deponiegas und Klärgas entstehen, ebenso wie Biogas, bei der als Vergärung oder Faulung bezeichneten anaeroben Zersetzung von organischem Material. Daher werden sie gelegentlich auch unter den Begriffen Faulgas oder Biogas zusammengefasst. Für die Verwertung des Biogases ist der Methananteil am wichtigsten, da er, als oxidierbare Verbindung, bei der Verbrennung Energie freisetzt.

Als Ausgangsstoffe für die technische Produktion von Biogas eignen sich:

- vergärbare, biomassehaltige Reststoffe wie Klärschlamm, Bioabfall oder Speisereste
- Wirtschaftsdünger (Gülle, Mist)
- bisher nicht genutzte Pflanzen bzw. Pflanzenteile (z. B. Zwischenfrüchte, Klee gras im

Biolandbau)

- gezielt angebaute Energiepflanzen (Nachwachsende Rohstoffe).

Dabei stellt die Landwirtschaft mit den drei letztgenannten Möglichkeiten das größte Potenzial für die Produktion von Biogas. Bis auf die letzte Möglichkeit handelt es sich dabei um prinzipiell kostenlose Ausgangsstoffe (abgesehen von Transport- und sonstigen Nebenkosten).

Aufgrund der kontinuierlichen Verfügbarkeit unabhängig von kurzfristigen Schwankungen von von Wind oder Sonneneinstrahlung trägt die Bioenergie und damit auch Biogas sinnvoll dazu bei, eine Ergänzung im Energiemix der Erneuerbaren Energieträger einzunehmen.

Biogas wird in Deutschland aufgrund der gesetzlich garantierten Vergütung bisher meist als Brennstoff für Blockheizkraftwerke zur Strom- und Wärmezeugung genutzt. In Schweden, wo die Stromerzeugung aus Biogas wegen niedrigerer Strompreise unrentabel ist, ist hingegen die Aufbereitung auf Erdgasqualität und Einspeisung in das Gasnetz sowie die Nutzung als Treibstoff in Gasfahrzeugen (Biomethan) die am weitesten verbreitete Nutzungsvariante. Mittlerweile wird auch in Deutschland Biogas in das Netz eingespeist und ist damit nahezu bundesweit verfügbar. Erste Projekte dazu starteten 2007.

### Zusammensetzung

Die in der Literatur zu findenden Angaben zur Zusammensetzung von Biogas sind sehr unterschiedlich. Generell gilt, dass die Gaszusammensetzung von diversen Parametern, wie Substratzusammensetzung und Betriebsweise des Faulbehälters, abhängen. Die folgende Tabelle zeigt Anhaltswerte für die wichtigsten enthaltenen Gase nach der neuesten Studie der DVGW.

### Nutzung

#### **Blockheizkraftwerke**

In Deutschland ist die Verbrennung in Blockheizkraftwerken (BHKWs) am verbreitetsten. Der Motor des BHKWs treibt einen Generator an, der Strom zur Einspeisung ins Netz produziert. Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ist eine erhöhte Vergütung zugesichert. Die Abwärme des BHKWs kann zusätzlich genutzt werden und liefert Erträge durch den Verkauf der Wärme und einen ebenfalls im EEG festgelegten Bonus für die Kraftwärmekopplung. Bisher wird bei den meisten landwirtschaftlichen Biogasanlagen nur ein geringer Teil der Wärme genutzt, beispielsweise zur Beheizung des Fermenters sowie von Wohn- und Wirtschaftsgebäuden. Unter anderem hohe Energiepreise und finanzielle Anreize durch die ab 2009 gültige Novelle des EEG fördern die Wärmenutzung. Das geschieht z. B. durch Nahwärmenetze wie im Bioenergiedorf Jühnde. Eine weitere Möglichkeit, die Wärmenutzung zu optimieren, bieten Mikrogasnetze. Eine oder mehrere Biogasanlagen speisen Biogas in ein solches Netz, welches das Gas zum Wärmeabnehmer leitet. Eine teure Wärmeleitung mit Durchleitungsverlusten wird so vermieden. Da der größte Teil der Erträge durch den Stromverkauf erzielt wird, befindet sich beim Wärmeabnehmer ein BHKW, welches als Hauptprodukt Strom zur Netzeinspeisung produziert und als Nebenprodukt Wärme bereitstellt.

### **Einspeisung in das Erdgasnetz**

Um Abwärme aus der Biogasverstromung vollständig nutzen zu können, kann eine Einspeisung in das Erdgasnetz erfolgen. Neben der Entfernung von Wasser, Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) muss auch eine Anpassung an den Heizwert des Erdgases im jeweiligen Gasnetz (Konditionierung) stattfinden. Der für die Einspeisung notwendige Druck hängt von der Gasleitung ab, in die das als Bioerdgas oder Biomethan bezeichnete Gas eingespeist werden soll. An anderer Stelle kann eine äquivalente Menge Gas wieder aus dem Netz entnommen und genutzt werden. So kann beispielsweise ein BHKW bei einem Schwimmbad mit hohem und ganzjährigem Wärmebedarf betrieben werden. Ähnlich wie bei einem BHKW-Betrieb an der Biogasanlage gelten auch hier die durch das EEG festgelegten Vergütungen und Boni. Wegen des hohen technischen Aufwands lohnt sich die Einspeisung nur für überdurchschnittlich große Biogasanlagen.

### **Weitere Nutzungsarten**

Biogas kann als nahezu CO<sub>2</sub>-neutraler Treibstoff in Kraftfahrzeugmotoren genutzt werden. Da eine Aufbereitung auf Erdgasqualität notwendig ist, muss der CO<sub>2</sub>-Anteil weitestgehend entfernt werden. Dieses sogenannte Biomethan oder Bioerdgas muss auf 200 bis 300 bar verdichtet werden, um in geeigneten Kraftfahrzeugen genutzt werden zu können. Bisher wird Biogas selten auf diesem Weg verwertet. Wegen der hohen elektrischen Wirkungsgrade könnte in Zukunft zudem die Verwertung von Biogas in Brennstoffzellen interessant sein. Der hohe Preis für die Brennstoffzellen, die aufwendige Gasaufreinigung und die in Praxisversuchen bisher noch geringe Standzeit verhindern eine breitere Anwendung dieser Technik.

### **Biogas in Europa**

In der EU wurden im Jahr 2006 62.200 GWh Biogas-Energie produziert, dabei waren Deutschland und Großbritannien führend. In geringem Umfang wird Biogas in fast allen Ländern Europas erzeugt. Länderspezifisch sehr unterschiedlich ist die Herkunft des Biogases. In Deutschland und Österreich wird Biogas überwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugt, während beispielsweise in Großbritannien und Spanien die Nutzung von Deponiegas im Vordergrund steht. Klärgas wird ebenfalls in den meisten Ländern zur Biogaserzeugung genutzt, auch hier sind Deutschland und Frankreich führend. Bezogen auf die Biogas-Energie pro Einwohner ist Großbritannien mit 321 MWh pro 1.000 Einwohner Spitzenreiter in der EU, gefolgt von Deutschland, Luxemburg und Dänemark.

### **Deutschland**

Die Angaben zur Nutzung von Biogas in Deutschland sind nicht ganz einheitlich wegen der nicht einheitlichen Zuordnung und Problemen der Datenerfassung. Manchmal wird Klärgas separat geführt, manchmal nicht; die Einordnung von Holzgas bleibt unklar. Nach dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gab es 2005 in Deutschland ca. 2700 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 665 MW, in denen 2.500 GWh Strom erzeugt wurden. Das entspricht 0,42 % des Gesamtstromverbrauchs von ca. 600.000 GWh in Deutschland. Damit wird jährlich die Emission von 2,5 Millionen Tonnen Kohlenstoffdioxid vermieden. Diese Zahlen gelten für

Stromerzeugung aus gasförmigen Energieträgern und enthalten somit auch einen nicht aufgeschlüsselten Anteil von Strom aus Holzvergaseranlagen.

In Jameln im Wendland wurde im Juni 2006 die erste öffentliche Biogastankstelle in Deutschland eröffnet.

### **Schweiz**

In der Schweiz wird häufig von Kompogas gesprochen, wenn Biogas gemeint ist. An vielen Schweizer Gastankstellen wird unter der Bezeichnung „Naturgas“ ein Gemisch von Kompogas und Erdgas verkauft. Im Mai 2007 betrug der Anteil von Kompogas im Raum Zürich ungefähr 40 %, hingegen im Welschland 0 %. Schweizweit soll der Anteil vom Biogas am „Naturgas“ mindestens 10 % betragen. Seit dem 01.01.2009 ist auch in der Schweiz ein erhöhter Einspeisetarif (Einspeisevergütung für aus Biogas erzeugtem Strom) für erneuerbare Energien in Kraft, welche auch Biogas einschließt. Dieser wird als kostendeckende Einspeisevergütung bezeichnet, wobei über die Bezeichnung „kostendeckend“ debattiert wird und „kostenbasiert“ als Alternative vorgeschlagen wird. Besonders erwähnenswert ist der sogenannte Landwirtschaftsbonus, der gewährt wird, wenn mindestens 80 % der Substrate aus Hofdünger bestehen. Damit nimmt die Schweiz mit ihrem Fördermodell eine Vorreiterrolle im Sinne nachhaltiger Entwicklung im Energiesektor ein, da sie insbesondere die güllebasierten und damit nachhaltigsten Biogasanlagen besonders fördert.

Herstellung

### **Biogas aus Energiepflanzen**

Analog zur Verwendung von Holz in Biomasseheizkraftwerken werden vermehrt Pflanzen gezielt zur Verfaulung in Biogasanlagen, d. h. zur Produktion von Biogas angebaut. Dies können im Prinzip alle ackerbaulich genutzten Früchte oder Gras sein. Aktuell (2004) ist die Nutzung von Mais, Getreide (Acker) und Gras (Wiese) am weitesten verbreitet. Es gibt Anstrengungen mehrjährige Wildpflanzen[4] als Energiepflanzen zu nutzen.

Zur groben Abschätzung der Nutzung für die Leistungserzeugung bei durchschnittlichem Wirkungsgrad:

1 ha Mais = ca. 2 kW elektr. Dauerleistung

1 ha sonstiges Getreide = ca. 1,5 kW

1 ha Gras = ca. 1 kW

Gülle von 1 Kuh = ca. 0,15 kW

### **Mikrobielle Prozesse**

Die Biogaserzeugung findet in einer Biogasanlage statt. In dem gesteuerten Prozess der Biogasbildung sind verschiedene Arten von anaeroben Mikroorganismen beteiligt, deren Mengenverhältnis zueinander durch Ausgangsstoffe, pH-Wert, Temperatur- und Faulungsverlauf beeinflusst wird. Aufgrund der Anpassungsfähigkeit dieser Mikroorganismen an die Prozessbedingungen können nahezu alle organischen Stoffe durch Verfaulen abgebaut werden. Lediglich höhere Holzanteile können durch das mikrobiologisch schwer zersetzbare Lignin schlecht

verwertet werden. Voraussetzung für eine erfolgreiche Methanbildung ist ein Wasseranteil im Ausgangssubstrat von mindestens 50 %.

Man unterscheidet nach dem heutigen Erkenntnisstand vier parallel bzw. nacheinander ablaufende und ineinandergreifende biochemische Einzelprozesse, die den anaeroben Abbau biogener Stoffe ermöglichen:

1 Während der **Hydrolyse** werden die Biopolymere in monomere Grundbausteine oder andere lösliche Abbauprodukte zerlegt. Fette werden in Fettsäuren, Kohlenhydrate, wie z. B. Polysaccharide, in Mono- oder Oligosaccharide und Proteine, in Peptide bzw. Aminosäuren zerlegt. Diese Reaktionen werden durch fakultativ anaerobe Mikroorganismen katalysiert, wobei diese die Edukte mittels ausgeschiedener Exoenzyme hydrolysieren. Dieser Reaktionsschritt ist aufgrund der Komplexität des Ausgangsmaterials geschwindigkeitsbestimmend.

2 Im Rahmen der **Acidogenese** (allgemeinsprachlich auch als Fermentation bezeichnet) – die zeitgleich zur Hydrolyse stattfindet – werden die monomeren Interdukte einerseits in niedere Fett-/Carbonsäuren, wie z. B. Butter-, Propion- und Essigsäure, andererseits in niedere Alkohole, wie z. B. Ethanol, umgesetzt. Bei diesem Umsetzungsschritt gewinnen die fakultativ anaeroben Mikroorganismen erstmals Energie. Bei dieser Umsetzung werden bereits bis zu 20 % des Gesamtanteils an Essigsäure gebildet.

3 Während der **Acetogenese** werden die niederen Fett- und Karbonsäuren sowie die niederen Alkohole durch acetogene Mikroorganismen zu Essigsäure (Anion Acetat) umgesetzt.

4 In der letzten, obligat anaerob ablaufenden Phase – der **Methanogenese** – wird die Essigsäure durch entsprechend acetoklastische Methanbildner nach Gleichung 1 in Methan umgewandelt. Etwa 30 % des Methans entstehen nach Gleichung 2 aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub>.

Gleichung 1:

Gleichung 2:

Zurück bleibt ein Gemisch aus schwer abbaubarem organischem Material, beispielsweise Lignin und anorganischen Stoffen wie zum Beispiel Sand oder anderen mineralischen Stoffen, der sogenannte Gärrest. Er kann als Dünger verwendet werden, da er noch alle Spurenelemente und zusätzlich noch fast den gesamten Stickstoff des Substrates in bioverfügbarer Form (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> bei neutralem pH) enthält.

Reinigung und Aufbereitung

Abhängig von der Nutzungsweise des Biogases (siehe oben) sind verschiedene Reinigungs- und Aufbereitungsschritte notwendig.

### Entschwefelung

Schwefel findet sich als Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) im Biogas. Meist ist der Anteil gering, bei proteinreichem Substrat, wie beispielsweise Getreide oder Leguminosen, kann er jedoch stark ansteigen. Selbst geringe Mengen H<sub>2</sub>S sind zu entfernen, da bei der Verbrennung Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) entsteht. Das kann zu direktem Verschleiß durch Korrosion im Motor oder Brenner, sowie zu indirektem Verschleiß durch Ansäuerung und damit Veränderung der Schmiereigenschaften des Motoröls führen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Entschwefelung. Gegebenenfalls sind mehrere Stufen nötig wie Grob- bzw. Feinentschwefelung.

Zu beachten ist hier die Hemmwirkung des in der Gülle gelösten Schwefelwasserstoffes auf die Methanbildung. Wird nur auf die Entschwefelung des Gases geachtet und die Entschwefelung der Reaktorflüssigkeit vernachlässigt, geht die Methanbildung durch Vergiftung der Methan erzeugenden Bakterien bis auf Null zurück. Diese Probleme treten jedoch nur in Abfallvergärungsanlagen mit hohen Proteinfrachten oder bei stark schwefelhaltigen Pflanzenteilen (Raps) auf und kann durch die Mischung der zu vergärenden Substrate beeinflusst werden.

### Trocknung

Wasser muß aus dem Biogas entfernt werden, da es schädlich für Verbrennungsmotoren ist. Bei einer Einspeisung in das Erdgasnetz muß das Gas trocken sein, um die Bildung von Wassertaschen durch Kondensation zu vermeiden. Da Ammoniak gut wasserlöslich ist, kann es bei der Trocknung aus dem Gas entfernt und mit dem Kondensat abgeführt werden. Wie andere Gas lässt sich Biogas durch die Kühlung des Gases im Erdreich oder durch Kompressorkälte entfeuchten.

### **CO<sub>2</sub>-Abtrennung**

CO<sub>2</sub> ist nicht weiter oxidierbar und trägt daher nicht zum Heizwert des Biogases bei. Um in das Erdgasnetz einspeisen zu können oder um erdgasgeeignete Kraftfahrzeuge mit Biogas betreiben zu können, muß dessen Heizwert an das Erdgas angepaßt werden. Da Methan die energieliefernde Komponente des Biogases ist, muß dessen Anteil durch Entfernung von CO<sub>2</sub> erhöht werden. Die Aufbereitung des Biogases umfasst neben den bereits geschilderten Verfahren zur Entschwefelung und zur Reduzierung des Ammoniak-Anteils vor allem die Reduzierung des CO<sub>2</sub>- und O<sub>2</sub>-Anteils. Die derzeit gängigen Verfahren der Methananreicherung durch CO<sub>2</sub>-Abtrennung sind Gaswäschen wie z. B. die Druckwasserwäsche (Absorptionsverfahren mit Wasser oder speziellen Waschmitteln) und die Druckwechsel-Adsorption (Adsorptionsverfahren an Aktivkohle). Bereits in den 1980er Jahren wurden in zwei Klärwerken in Deutschland eine Trennung des CO<sub>2</sub> im Klärgas durch Absorptionsmittel wie z. B. Monoethanolaminlösung (Aminwäsche) über Jahre erfolgreich betrieben, um sie dann ins Erdgasnetz einzuspeisen. [5] Daneben sind weitere Verfahren wie eine kryogene Gastrennung (mittels tiefen Temperaturen) oder eine Gastrennung durch eine Membran in der Entwicklung für eine allgemeine Anwendung im Biogasbereich.

### **Konditionierung**

Je nach Herkunft hat Erdgas aus verschiedenen Netzen unterschiedliche Heizwerte. Bei einer Einspeisung von aufbereitetem Biogas muß dessen Heizwert an das jeweilige Netz angepaßt werden. Der sogenannte Wobbeindex definiert diesen Wert. Durch Beimischen von Gasen (Propan, Butan) ist eine Erhöhung möglich. Zunächst lag die Konditionierung in der Verantwortung des Gaseinspeisers. Um den Netzzugang zu erleichtern, wurde diese Verantwortung 2008 durch die Gasnetzzugangsverordnung auf den Netzbetreiber übertragen.

### **Verdichtung**

Die Verdichtung von Biogas ist notwendig, wenn aufbereitetes Biogas in das Erdgasnetz eingespeist werden soll. In diesem Fall sind, abhängig vom jeweiligen Netz, niedrige bis mittlere Drücke bis etwa 20 bar notwendig. Für die Nutzung als Treibstoff ist eine stärkere Komprimierung auf über 200 bar notwendig, um ausreichende Energiedichten zu erhalten. Solch hohe Drücke sind nur mit einer mehrstufigen Verdichtung realisierbar.

### **Weitere Reinigungs- und Aufbereitungsschritte**

In Deponie- und Klärgasen können Siloxane sowie halogenierte und cyclische Kohlenwasserstoffe enthalten sein. Siloxane verursachen stark erhöhten Motorenverschleiß. Die Kohlenwasserstoffe führen zu Emissionen toxischer Verbindungen. Mit Aktivkohle können sie aus dem Gas entfernt werden.