

## **Biomasse – gespeicherte Energie der Sonne**

Als zweiter Artikel in der Reihe, die der Vorstellung verschiedener Erneuerbarer-Energien-Technologien dienen, wird in diesem Text die Energieerzeugung aus Biomasse beleuchtet und insbesondere auf die Stromerzeugung in Biogasanlagen eingegangen.

Der Artikel ist wie folgt aufgebaut:

### **1. Nutzung und Potential von Biomasse**

- 1.1** Biomassenutzung international
- 1.2** Biomassenutzung in Deutschland
- 1.3** Biogaspotential in Deutschland

### **2. Nutzungsformen von Biomasse**

- 2.1** Physikalisch Umwandlungsprozesse
- 2.2** Thermochemische Umwandlungsprozesse
- 2.3** Biologische Umwandlungsprozesse
  - 2.3.1** Vergärung von Biomasse in einer Biogasanlage
  - 2.3.2** Biogaserzeugung
  - 2.3.3** Energiegehalt von Biomasse
  - 2.3.4** Kofermentation
  - 2.3.5** Funktionsweise und Bestandteile einer Biogasanlage
  - 2.3.6** Kenndaten einer durchschnittlichen Biogasanlage

### **3. Vorteile der Biomassenutzung**

- 3.1** Vorteile der Energieerzeugung speziell in Biogasanlagen

(Autorin: Vera Herhaus, Naturstrom AG; Copyright Naturstrom AG, 2003)

## **Vorwort**

Die Energieerzeugung aus Biomasse nutzt indirekt die Sonnenenergie: Die in der Biomasse enthaltene Energie entsteht durch Photosynthese der Pflanzen, die die eingestrahlte Lichtenergie in biochemische Energie umwandeln. Bei diesem Prozess binden sie Wasser und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Luft und Nährstoffe aus dem Boden. Eine detaillierte Beschreibung des Ablauf der Photosynthese und damit des Biomasseaufbaus finden Sie unter: [http://www.boxer99.de/biogas\\_photosynthese.htm](http://www.boxer99.de/biogas_photosynthese.htm).

## **1. Nutzung und Potential von Biomasse**

Seit über vierhunderttausend Jahren nutzen die Menschen Biomasse als Energieträger. In Form von Holz (und Holzkohle) war sie lange Zeit das wichtigste Heizmaterial – solange, bis Kohle, Erdöl und Erdgas sie ersetzen.

Viele Informationen, Studien und aktuelle Informationen zum Thema Biomasse finden Sie bei der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe unter: <http://www.fnr.de/> und beim Biomasse-Info-Zentrum unter: <http://www.biomasse-info.net/>.

### **1.1 Biomassenutzung international**

Weltweit hat die Energiegewinnung aus Biomasse insbesondere in Entwicklungsländern eine große Bedeutung. Dort kommt etwa ein Drittel der Energie aus Biomasse, mit teilweise fatalen Folgen für die Waldbestände dieser Länder, da dort keine nachhaltige Forstwirtschaft betrieben wird. Dabei schwankt der Biomasseanteil erheblich und beträgt zwischen 28 % in China und Brasilien bis zu 90 % in Nepal, Ruanda und Tansania.

Auch in manchen Industrieländern (z. B. Österreich, Finnland und Schweden) fällt der Anteil der Biomasse an der Energiegewinnung mit 15-20 % relativ hoch aus und ist dort insbesondere auf die Nutzung von Holz aus den großen Waldbeständen zurückzuführen.

### **1.2 Biomassenutzung in Deutschland**

Energie aus Biomasse deckt in Deutschland zur Zeit etwa zwei Prozent des Endenergieverbrauchs. Dabei stellt Biomasse rund 42 TWh (3,5 %) der Wärme und rund 1,6 TWh (0,8 %) des Stroms zur Verfügung.

Das gesamte Energiepotential von Biomasse liegt weit höher; Biomasse als einer der vielseitigsten Energieträger kann zur Erzeugung von Treibstoff, Wärme und Strom eingesetzt werden. Diese Vielseitigkeit macht es jedoch auch schwierig, die konkreten Potentiale für die Strom- und Wärme- bzw. Treibstoffherzeugung aus Biomasse abzugrenzen, denn Biomasse kann immer nur *einmal* zur Erzeugung *einer* Energieart genutzt werden. Theoretisch könnte Biomasse in Deutschland beispielsweise 10 % des Wärme- und 15 % des Strombedarfs decken und ca. 6 % des Dieselkraftstoffverbrauchs ersetzen.

Gegenwärtig wird nur ein Bruchteil dieses Energiepotentials genutzt, besonders bei Biogas besteht ein großes noch ungenutztes Potential.

### **1.3 Biogaspotential in Deutschland**

Das Biogaspotential in Deutschland beträgt rund 23 – 25 Mrd. m<sup>3</sup>/a. Der landwirtschaftliche Sektor trägt mit rund 85 % den größten Anteil zu diesem potentiellen Biogasaufkommen bei.

Der Rest des Potentials liegt bei der Entsorgung feuchter organischer Reststoffe z. B. aus Kommunen (Rasenschnitt, Bioabfall, Klärschlamm) oder aus der Gastronomie (Speisereste, Küchenabfälle, Altfett und

Schlachthofabfälle) sowie aus der Lebensmittelindustrie (Treber, Schlempen, überlagerte Lebensmittel und Pulpen).

Insgesamt ergibt sich ein Endenergiepotential der Stromerzeugung aus Biogas von ca. 45 TWh/a, das entspricht rund 8 % der Gesamtstromerzeugung im Jahr 2001. Demgegenüber liegt das technische Endenergiepotential der Wärmebereitstellung dabei zwischen 75 und 100 TWh/a und damit bei ca. 5 % der Gesamtwärmeerzeugung.

Nachfolgend werden einige Möglichkeiten beschrieben, wie Biomasse nutzbar gemacht werden kann. Dabei wird insbesondere auf den Prozess der anaeroben Vergärung in Biogasanlagen eingegangen.

## 2. Nutzungsformen von Biomasse

Biomasse kann auf sehr unterschiedliche Art und Weise aufgearbeitet und letztlich in die gewünschte Energieform umgewandelt werden. Die Arten der Umwandlung werden je nach eingesetzter Biomasse (z. B. Waldrestholz, Gülle, Klärschlamm) und des gewünschten End- bzw. Nutzenenergieträgers (z. B. Wärme, Strom oder Treibstoffe) unterschieden. Abb. 1 liefert eine Übersicht der am häufigsten angewandten Umwandlungsverfahren.

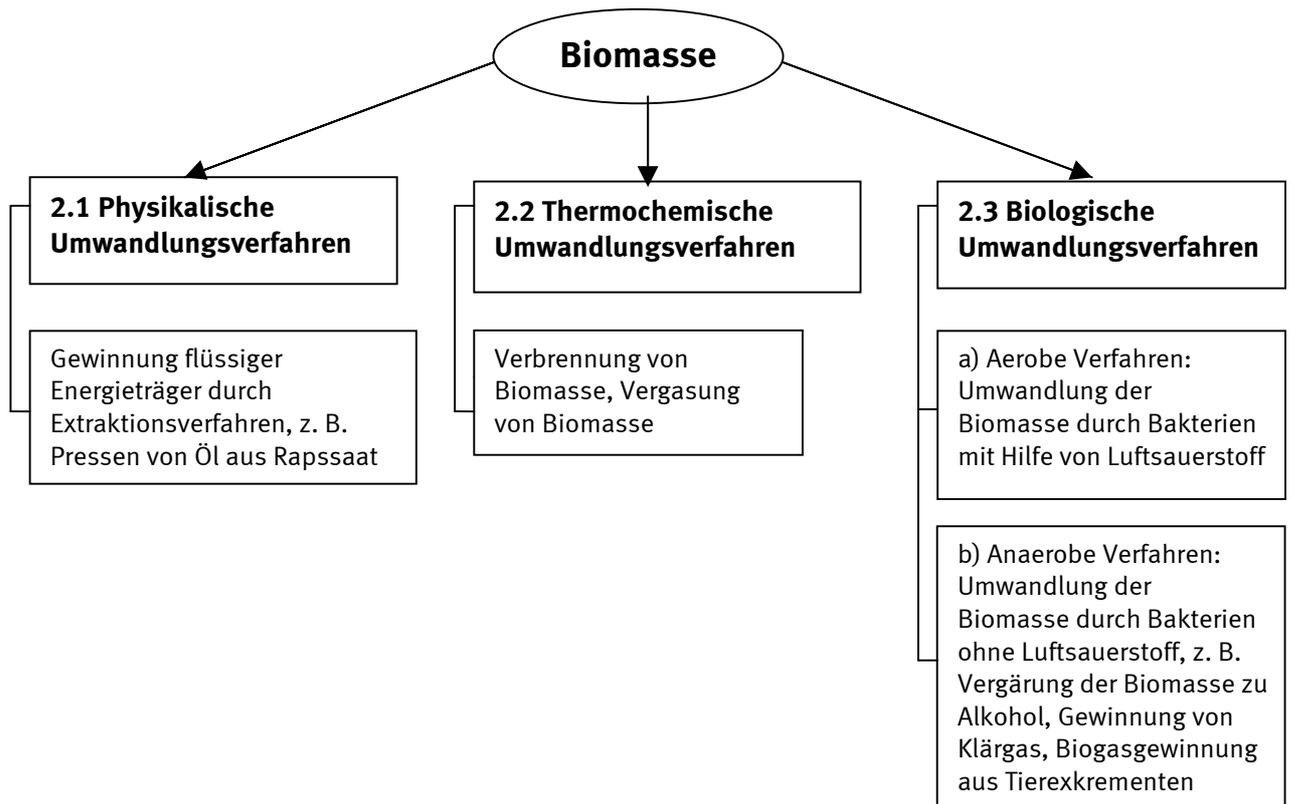


Abb. 1: Umwandlungsverfahren von Biomasse (eigene Darstellung)

### 2.1 Physikalische Umwandlungsverfahren

Mit Hilfe physikalischer Umwandlungsverfahren von Biomasse können fossile Treibstoffe durch Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen ersetzt werden. Dabei werden zur Zeit in Deutschland zwei Möglichkeiten angewandt: der Ersatz von Dieseltreibstoff durch Biodiesel oder durch kaltgepresstes Pflanzenöl.

Beide Produkte werden durch Pressen von Saatkörnern (Raps, Leindotter) gewonnen. Das Pflanzenöl wird entweder direkt in speziellen Motoren eingesetzt oder zu Biodiesel verestert, d. h. chemisch verändert, und dann in herkömmlichen Dieselfahrzeugen eingesetzt, deren Kraftstoffsystem für Biodiesel geeignet ist. Die Erzeugung von Biodiesel ist vergleichsweise aufwändig.

Kaltgepresstes Pflanzenöl kann kostengünstiger hergestellt werden, allerdings müssen die Fahrzeugmotoren mit speziellen Einspritz-Düsen, Kraftstoffleitungen und Filtern ausgerüstet werden, oder das Pflanzenöl vorgewärmt werden, da Pflanzenöl eine höhere Viskosität als Dieseltreibstoff hat.

Details zur Nutzung von kaltgepresstem Pflanzenöl finden Sie hier:

<http://www.ufop.de/> (Seite der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.) und <http://www.sfv.de/lokal/mails/wvf/pflanzen.htm> (Erfahrungsbericht eines Pflanzenöl-Fahrers).

Im Internet findet man mehrere Firmen, die die Umrüstung von Dieselfahrzeugen durchführen. Je nach Art und Qualität der Umrüstung und nach Eigenleistung liegen die Kosten bei 500 bis 3000 Euro. Da Pflanzenöl nur etwa 60 Cent pro Liter kostet, lohnt sich die Umrüstung ab etwa 15.000 km/Jahr bei Fahrzeugen, die noch einige Jahre halten. Aus Umweltgesichtspunkten ist die Umrüstung immer zu empfehlen. Je nach Fahrzeugtyp kann im Sommer evtl. auch ohne Umrüstung dem Dieselmotorkraftstoff kaltgepresstes Pflanzenöl zugesetzt werden.

## 2.2 Thermochemische Umwandlungsverfahren

Verbrennung oder Vergasung von Biomasse – hier als thermochemisches Verfahren bezeichnete – verbindet man wohl zuallererst mit dem Begriff der Biomassenutzung. Die Verbrennungstechnologie ist seit langem auch großtechnisch im Einsatz. Dabei kann die Biomasse wie z. B. Holz oder Stroh direkt in einer Feuerungsanlage verbrannt oder vergast werden. Aber auch gegenüber der klassischen Gebäudeheizung (Gas oder Öl) setzt sich in Deutschland die Nutzung von Holzhackschnitzeln, Scheitholz oder Pellets, die bei der Durchforstung oder als industrielle Restprodukte anfallen, immer mehr durch. Details zum Heizen mit Biomasse erfahren Sie im Naturstrom-Newsletter vom Juli 2003 (Ausgabe 8) unter <http://www.naturstrom.de/newsletter/>.

Biomasse kann auch in normalen Kohlekraftwerken als Brennstoff beigemischt werden, der so erzeugte Strom wird jedoch nicht nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz vergütet, da dieses Gesetz nur Strom berücksichtigt, der ausschließlich in Erneuerbaren-Energien-Anlagen gewonnen wurde.

## 2.3 Biologische Umwandlungsverfahren

Bei den biologischen Veredlungsverfahren erfolgt die Umwandlung der Biomasse in Sekundärenergieträger bzw. in End- oder Nutzenergie mit Hilfe von Mikroorganismen. Dabei gibt es zwei Varianten:

### *a) aerober Abbau*

Unter aerobem Abbau wird allgemein die Kompostierung von Biomasse verstanden. Bei der Kompostierung geht die gesamte biologisch freigesetzte Energie in Form von Abwärme verloren, sie ist nur in ganz wenigen Ausnahmefällen nutzbar. Aerober Abbau ist sinnvoll bei relativ trockenem Material mit hohem Lignin- und Zelluloseanteil, das nicht vergärt werden kann wie z.B. Strauchschnitt.

Der aerobe Abbauweg erfordert das Vorhandensein von Luftsauerstoff. Das ist bei der natürlichen dezentralen Kompostierung – Abbau einer Laubschicht unter einem Baum oder kleiner Komposthaufen im Garten – kein Problem. Bei einer zentralen Entsorgung mit großen Schichtdicken, z. B. Kompostierungsanlagen, kann sich leicht ein anaerobes Milieu bilden und klimaschädliche Gase entstehen lassen.

### *b) anaerober Abbau*

Der anaerobe Abbau von Biomasse unter Methanbildung findet in der Natur überall dort statt, wo organisches Material in feuchter Umgebung und unter Luftabschluss durch die Stoffwechselaktivität natürlicher Methanbakterien verrottet. Beispiele hierfür sind die Entstehung von Sumpfgas, die Methanbildung im Verdauungstrakt von Wiederkäuern, in nassen Kompostierungsanlagen und in überfluteten Reisfeldern.

Eine technologische Anwendung findet der Methangärungsprozess in (landwirtschaftlichen) Biogasanlagen. Dabei ist der biologische Kreislauf geschlossen: Zunächst bewirkt Sonnenenergie den Aufbau und das Wachstum von Biomasse. Dabei wird Kohlendioxid aus der Atmosphäre verbraucht, dem Boden werden Nährstoffe entzogen. Stirbt die Pflanze ab oder dient sie als Nahrung, bleiben letztlich organische Reststoffe (Gülle, Stroh) mit noch hohem Energiepotential zurück. In Biogasanlagen wird der natürliche Prozess der Methangärung kontrolliert und klimaschädliche Gase, die sonst entweichen würden, werden zur Energieerzeugung genutzt. Durch ein Ausbringen der nährstoffreichen ausgefäulten Gülle auf die Felder kann der Biomassekreislauf erneut beginnen.

### **2.3.1 Vergärung von Biomasse in einer Biogasanlage**

Biogasanlagen werden in Deutschland seit über 80 Jahren betrieben, vornehmlich in der Landwirtschaft. Im März 2003 existierten ungefähr 1900 Anlagen in Deutschland. In China und Indien dagegen ist die Biogastechnologie besonders im kleinbäuerlichen Bereich weit verbreitet. Zusammen gibt es in diesen beiden Ländern ca. 8 Mio. Biogasanlagen. Nähere Informationen zu Biogasanlagen in Entwicklungsländern finden Sie in der Studie des Büros für Technikfolgen-Abschätzung unter <http://www.tab.fzk.de/de/projekt/zusammenfassung/Textab73.htm>.

### **2.3.2 Biogaserzeugung**

Beim anaeroben Abbau organischer Stoffe, d. h. der Umwandlung unter Sauerstoffabschluss, wird durch die Aktivität bestimmter Bakterien ein Gas gebildet. Diese Methanbakterien benötigen neben dem anaeroben Klima einen Temperaturbereich zwischen 30°-60° C sowie ein feuchtes Gülle- oder Mist-Grunds substrat als Lebensraum.

Sowohl Schweine- als auch Rinder- und Hühnergülle sind zum Einsatz in Biomasseanlagen geeignet. Jede Gülleart hat Vor- und Nachteile. So muss zwar Rindergülle nicht mit Methanbakterien versetzt werden, da bereits genug anaerobe Bakterien in der Gülle vorhanden sind; Schweine- und Hühnermist dagegen ist energiereicher, da diese Tiere das Futter nicht so gut verwerten können wie Rinder.

Das gewonnene Biogas besteht zu 55-70 % aus Methan. Weitere Bestandteile sind 30-40 % Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) sowie Spuren von Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S), Stickstoff (N<sub>2</sub>), Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Kohlenmonoxid (CO). Die Entstehung und genaue Zusammensetzung des Gases finden Sie hier: [http://www.boxer99.de/biogas\\_biogaszusammensetzung.htm](http://www.boxer99.de/biogas_biogaszusammensetzung.htm).

### **2.3.3 Energiegehalt von Biogas**

Aufgrund des relativ hohen Energiegehaltes lässt sich Biogas als Energieträger für die Wärme- und Stromerzeugung nutzen. Der Energiegehalt ist dabei direkt vom Methangehalt im Biogas abhängig. Ein Kubikmeter Methan hat einen Energiegehalt von knapp zehn Kilowattstunden (9,94 kWh). Bei einem angenommenen Methananteil im Biogas von 60 % beträgt der energetische Nutzen eines Kubikmeters Biogas ca. sechs Kilowattstunden.

Der durchschnittliche Heizwert eines Kubikmeters Biogas entspricht etwa dem von 0,6 Liter Heizöl. Als Faustformel kann angenommen werden, dass aus der Gülle einer ausgewachsenen Kuh ca. 3 kWh Strom und 6 kWh Wärme produziert werden können; drei bis vier Kühe reichen also zur Versorgung einer Durchschnittsfamilie aus.

### **2.3.4 Kofermentation**

Ein Mitvergären von organischen Reststoffen wie z. B. Rasenschnitt, Küchenabfällen oder Schlempen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird als Kofermentation bezeichnet. Kofermentation kann wirtschaftlich lukrativ sein, allerdings sind verschiedene gesetzliche Vorschriften zu beachten, die die

Genehmigungslage verkomplizieren. Die Potentiale der verschiedenen Kofermentationsstoffe, die in Biogasanlagen eingesetzt werden können, finden sich unter [http://www.boxer99.de/biogas\\_biogaspotentiale.htm](http://www.boxer99.de/biogas_biogaspotentiale.htm).

Damit Biogasanlagen zur Zeit wirtschaftlich betrieben werden können, werden häufig nachwachsende Rohstoffe (z. B. Mais, Gras) der Anlage als Kofermentationsstoffe zugesetzt. Beispielsweise lassen sich durch Zusetzen der Maisernte einer 20 ha großen Fläche etwa 1.000.000 kWh Energie in den Anlagen gewinnen.

### 2.3.5 Funktionsweise und Bestandteile einer Biogasanlage

Das Kernstück einer Biogasanlage ist der Fermenter. Hier hinein wird die Gülle gepumpt, je nach Ausführung der Anlage einmal oder mehrmals täglich. Als Werkstoffe werden Beton oder Stahlplatten eingesetzt. Wichtig dabei ist die Gasdichtigkeit. Der Fermenter wird isoliert und mit einer Heizung (externe Wärmetauscher und Heizspiralen an der Innenwand oder Fußbodenheizung) ausgestattet; die Heizwärme entstammt dabei der Abwärme der Biogas-Stromerzeugung.

Die Heizung ist nötig, damit die thermo- oder mesophilen Methanbakterien einen optimalen Lebensraum vorfinden. Niedrigere Temperaturen (ca. 30 °C) sind für einen hohen Methangehalt vorteilhafter, allerdings bedeuten sie auch eine längere Verweildauer der Biomasse im Fermenter, da sie langsamer zersetzt wird als bei höheren Temperaturen (ca. 60 °C). Da es im Verlauf des meist über 3 Wochen dauernden Vergärungsprozesses zu Entmischungen kommt, muss das Substrat regelmäßig durchgerührt werden.

Neben dem Fermenter mit Rührwerk und Gasspeicher gehören zu einer Biogasanlage weiterhin ein Zwischenlager für die ausgefäulte Gülle, sowie Pumpen zur Beschickung und Entleerung des Fermenters. Da bei der Vergärung auch Schwefelwasserstoff entsteht, muss das entstandene Biogas zunächst entschwefelt werden. Dann kann es je nach Anlagentyp in einem Speicher zwischengelagert werden, bis es in einem Blockheizkraftwerk zur Produktion von Strom und Wärme verbrannt wird.

Das Schema einer Biogasanlage finden Sie hier: <http://www.biogas-nord.de/docs/technologie.html>.

### 2.3.6 Kenndaten einer durchschnittlichen Biogasanlage

Für einen mittelgroßen landwirtschaftlichen Betrieb mit beispielsweise ca. 170 Großvieheinheiten (eine Großvieheinheit entspricht ca. 500 kg Lebendgewicht und damit einem ausgewachsenen Rind) wird ein Gärbehälter von 395 m<sup>3</sup> benötigt.

Bei dem zu erwartenden jährlichen Gasertrag in Höhe von ca. 90.000 m<sup>3</sup> lässt sich mit einem 27 kW<sub>el</sub>-Generator eine Strommenge von 170.000 kWh/a produzieren. Der Strom aus Biogasanlagen wird bis zu einer installierten Leistung von 500 kW mit 10 ct/kWh nach EEG vergütet (von 501 kW<sub>el</sub> bis zu einer installierten Leistung von 5 MW beträgt die Vergütung 9 ct/kWh). Zusätzlich werden bei diesem Beispiel etwa 160.000 kWh/a Wärme erzeugt.

Die Kosten für die oben beschriebene durchschnittliche Anlage (einschließlich Güllelager, Blockheizkraftwerk und Fermenter) betragen ca. 140.000 Euro (Stand März 2003). Damit liegen die investiven Kosten bei rund 80 Cent/kWh und Jahr (ohne die Kosten für die eingesetzte Biomasse) und damit deutlich über denen von beispielsweise Windenergie mit 50-70 Cent/kWh und Jahr (je nach Volllaststunden). Eine solche durchschnittliche Biogasanlage kann zur Zeit nur mit Naturstrom-Förderung wirtschaftlich betrieben werden. Bei Anlagen mit größerer Leistung sinken die spezifischen Investitionskosten für Biogasanlagen deutlich, ab etwa 150 bis 200 kW<sub>el</sub> ist der Betrieb einer Biogasanlage meist rentabel.

Die Beispielrechnung finden Sie hier: [http://www.iwr.de/bio/biogas/biogas\\_infos.html](http://www.iwr.de/bio/biogas/biogas_infos.html).

### **3. Vorteile der Biomassenutzung**

Die energetische Nutzung von Biomasse hat viele Vorteile: Da der Energieträger Pflanze immer wieder nachwächst, ist eine beständige Energieversorgung gesichert und die beschränkten Vorkommen von Erdöl oder Erdgas werden geschont. Von zentraler Bedeutung ist auch der ökologische Aspekt: Bei der Energiegewinnung aus Biomasse ist der CO<sub>2</sub>-Kreislauf geschlossen; der Verstärkung des Treibhauseffekts wird entgegengearbeitet.

Gegenüber anderen regenerativen Energien hat Biomasse einen entscheidenden Vorteil. Sie ist speicherbar – im Gegensatz zu Wind- oder Sonnenenergie – und bedarfsentsprechend regelbar, d. h. sie kann, mit Einschränkungen beim Biogas, an jedem Ort zum gewünschten Zeitpunkt für die Energieversorgung eingesetzt werden. Wärme und Strom werden dort erzeugt, wo sie gebraucht werden und Überschüsse können ins Netz eingespeist werden. Die Einspeisung von Biogas ins Gasnetz, wenn die Wärme vor Ort nicht komplett genutzt werden kann, ist allerdings bisher nicht gesetzlich geregelt.

#### **3.1 Vorteile der Energieerzeugung speziell in Biogasanlagen**

- Die Freisetzung von äußerst klimaschädlichem Methan-Gas wird verhindert, da dieses bei der Verstromung zu CO<sub>2</sub> verbrennt.
- Ohne die Biogasanlage würde das bei der Viehhaltung im Gülle-Silo entstehende Methangas ungehindert in die Atmosphäre entweichen.
- Mit einem Wirkungsgrad von über 80 % (wenn die Wärme genutzt werden kann) arbeiten Biogasanlagen mit einer Effizienz, die deutlich über der von konventionellen Kraftwerken liegt, vergleichbar mit der von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.
- Die ausgefäulte Gülle ist wesentlich geruchsärmer als normale Gülle. Außerdem weist sie eine bessere Fließfähigkeit sowie höhere Dungfähigkeit auf. Der höhere Dungwert erklärt sich dadurch, dass in der Biogasanlage organisches Material der Gülle abgebaut wurde und sich der Anteil des anorganischen Materials erhöht hat. Die in der ausgefäulten Gülle bereits mineralisiert vorliegenden Nährstoffe wie z. B. Stickstoff und Phosphat können von der Pflanze schneller aufgenommen werden; die Gefahr einer Auswaschung wird bei bodennaher Ausbringung der Gülle erheblich reduziert.