

8 Ökologische Bewertung der Biogaserzeugung und -nutzung

Matthias Plöchl und Michael Schulz

8.1 Grundlagen der ökologischen Bewertung

Alternative Energiequellen ermöglichen den teilweisen Ersatz fossiler Energieträger. Dies leistet einen wirksamen Beitrag im Kampf gegen den Treibhauseffekt und schont, nicht zuletzt, die endlichen Vorräte fossiler Energieträger. Die stark klimafährdenden Industrieländer (auch Deutschland ist hiervon betroffen) müssen bis zur zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts knapp die Hälfte ihrer Energie aus erneuerbaren Energiequellen decken, das wären ungefähr 25 % des heutigen Verbrauchs. Zurzeit sind es weniger als 2 %, bis 2010 sollen es 5 % des Primärenergieverbrauchs sein. Im Rahmen der alternativen Energieträger nehmen die Gewinnung und Verwertung von Biogas eine bedeutsame Rolle ein. Um das eingangs genannte Ziel zu erreichen, sind nicht nur die alternativen Verfahren zu forcieren, sondern bei der Auswahl auch ihre Auswirkungen auf die Umwelt mit zu berücksichtigen. Die verschiedenen Verfahren der Energieerzeugung sind deshalb nicht nur ökonomisch, sondern auch ökologisch miteinander zu vergleichen. Voraussetzung für einen solchen Vergleich ist eine optimale Verfahrensgestaltung. Bei der Biogaserzeugung reicht dies von der Bereitstellung bzw. der Erzeugung der Einsatzstoffe, über das verlustarme Lagern, der Biogasproduktion an sich bis hin zum Ausbringen und dem bedarfsgerechten Einsatz der Gärreste. Beispielsweise kann das so genannte „Nachgasen“ von Gärresten in offenen Behältern die bestehenden Umweltvorteile aus ökologischer Sicht eliminieren.

Die ökologische Bewertung der Biogaserzeugung und -nutzung sollte grundsätzlich nach den Leitlinien einer Ökobilanz gemäß der internationalen Norm ISO 14040-3 erfolgen. Die Nutzung erneuerbarer Rohstoffe in der Energiewirtschaft verfolgt zum einen das Ziel der Vermeidung von Treibhausgasemissionen und zum anderen der Energiebe-

reitstellung. Die wichtigsten Parameter in der Bewertung sind die Bilanz der Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) sowie von Ammoniak (NH₃). Wobei letzteres nach seiner Deposition in der Umwelt zu etwa 1 % bezogen auf den Stickstoff als Lachgas wieder emittiert wird. Diese Emissionen werden in der Bilanz als CO₂-Äquivalente (g CO₂ eq·kWh⁻¹) ausgewiesen und im Ergebnis zusammengefasst. Die CO₂-Äquivalente berücksichtigen die unterschiedlichen Treibhauswirkungen (GWP – Greenhouse Warming Potential) der genannten Gase, bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren.

Die Ökobilanzierung erfasst die Umweltwirkungen aller Arbeitsschritte innerhalb eines konkreten Produktionsprozesses und die anteiligen Umweltwirkungen der Herstellung der Werkzeuge, Maschinen und Energien, die materiell notwendig sind, um diese Arbeitsschritte durchzuführen. Das sind im Falle der Biogaserzeugung alle Teile der Biogasanlage – Fermenter, Pumpen, Rührwerke, Leitungen, Gasbehälter, Kontrolleinrichtungen etc. und somit die Emissionen, um die Materialien dieser Komponenten herzustellen, sowie der Bau selbst. Weiterhin werden in die Ökobilanz die Emissionen eingerechnet, die sich aus der Umsetzung der eingesetzten Stoffe und dem Betrieb der Biogasanlage ergeben (**Abb. 8.1**).

Für die Nutzung des Biogases erfolgt die Bilanzierung auf Grundlage der technischen Ausrüstung, die sich aus den jeweiligen Nutzungsvarianten ergeben: Im Falle der Strom- und Wärmeproduktion im Blockheizkraftwerk (BHKW) (über 90 % der derzeitigen Nutzung) sind dies die Anlagenteile

Tab. 8.1: Treibhauswirkungen verschiedener Gase (Quelle: IPCC, 2001)

Gas	GWP
CO ₂	1
CH ₄	23
N ₂ O	296

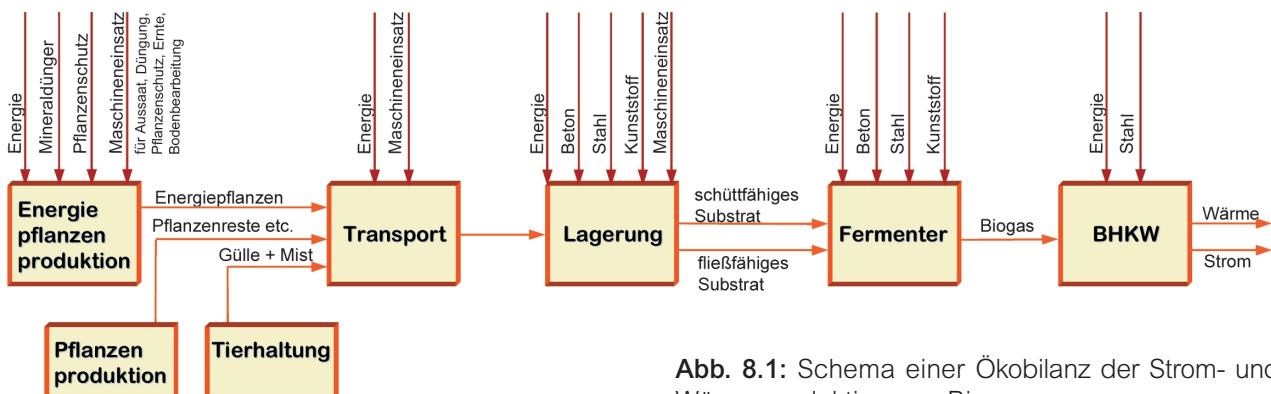


Abb. 8.1: Schema einer Ökobilanz der Strom- und Wärmeproduktion aus Biogas

des BHKW, inkl. die der Gasaufbereitung und der Wärmenutzung.

Die Ökobilanz wird sinnvollerweise auf das Endprodukt der Biogasnutzung bezogen, d.h. auf die Kilowattstunde erzeugten Stroms und Wärme. Durch diesen Bezug wird auch deutlich, dass bei mangelhafter Nutzung der Wärme die Ökobilanz schlechter ausfällt als bei möglichst vollständiger Nutzung von erzeugtem Strom und erzeugter Wärme.

8.2 Biogas als Energieträger

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass der Ersatz fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) durch Biogas eine positive Ökobilanz erbringt. Die Erzeugung von Biogas hat vergleichsweise geringe Emissionsbelastungen im Vergleich zum Abbau und Transport fossiler Energieträger. Die Bilanz der Umsetzung in Strom und Wärme in Kraftwerken ist in erster Linie von der Größe der Anlagen abhängig. Hier kann die Stromgewinnung aus fossilen Quellen in Großanlagen ökologisch günstiger sein, insbesondere im Vergleich zu Kleinanlagen bei Biogaseinsatz. Die gleichzeitige Nutzung der Wärme verbessert jedoch die Ökobilanz der Energieumwandlung in BHKWs deutlich gegenüber der ausschließlichen Stromproduktion in Großanlagen.

Die klimarelevanten Emissionen bei der Erzeugung von Elektroenergie sind beim Einsatz von Biogas wesentlich geringer als bei fossilen Energieträgern. Grund dafür ist, dass beim Umsatz organischer Stoffe nur soviel Kohlendioxid direkt freigesetzt wird, wie vorher durch die photosynthetische Stoffproduktion von der Pflanze aus der Atmosphäre entzogen wurde. Bei fossilen Energieträgern wird Kohlendioxid freigesetzt, das über Jahrtausenden in der Erdkruste festgelegt war.

Voraussetzung für eine günstige Ökobilanz ist jedoch, dass die Substrate zur Biogaserzeugung aus einem engen Umkreis (< 50 km) um die Biogasanlage kommen. Aufgrund der, im Vergleich zu fossilen Energieträgern, geringen Energiekonzentration von Gülle, aber auch der anderen Substrate (Energieganzpflanzen, Pflanzenreste usw.) haben Transporte, die wesentlich über diesen Umkreis

Tab. 8.2: Beispielhafte mittlere Treibhausgasemissionen (als CO₂-Äquivalente) der Energieerzeugung (Quelle: Öko-Institut, 2006)

Brennstoff	Treibhausgasemissionen [g CO ₂ eq·kWh ⁻¹]
Rohbraunkohle	1.060
Heizöl	875
Erdgas	400

hinausgehen, sehr viel ungünstigere Ökobilanzen. Wird z.B. Gülle über eine Strecke von 100 km transportiert, um in einer großen, zentralen Biogasanlage (> 50 MW_{el}) vergoren zu werden, wird die Ökobilanz, bezogen auf eine ausschließliche Stromnutzung, schlechter als bei Einsatz fossiler Brennstoffe (Matthes, in: Heiermann u. Plöchl, 2002).

8.3 Ökobilanz der Anlagen zur Produktion und Nutzung von Biogas

Die Anlagen zur Produktion und Nutzung von Biogas sind in erster Linie die Fermentieranlage mit Zugabesystem oder Vorgrube, Haupt- und Nachgärer und Gärrestlager, sowie das BHKW oder die Gasaufbereitungsanlage. Im Falle der Vergärung von ausschließlich Gülle und/oder Festmist zählt das Gärrestlager nicht zur Anlage, da dies für die ausreichende Lagerung des Wirtschaftsdüngers sowieso vorhanden sein muss.

Die Ökobilanz begründet sich hauptsächlich auf den Stahl und den Beton, die für die Anlagen verbaut werden. Für das BHKW sind das ca. 300 t Beton und 60 t Stahl je Megawatt elektrischer Leistung, daraus ergeben sich 29 g CO₂ eq·kWh⁻¹. Für die baulichen Anlagen können im Mittelwert 117 t·MW⁻¹ Beton und 27 t·MW⁻¹ Stahl angenommen werden. Dies ergibt nach dem Globalen Emissionsmodell Integrierter Systeme (GEMIS, Öko-Institut, 2006) eine Treibhausgasbilanz von ca. 13 g CO₂ eq·kWh⁻¹.

8.4 Ökobilanz von Gülle und pflanzlichen Reststoffen als Biogassubstrat

Werden Gülle und pflanzliche Reststoffe zur Vergärung in Biogasanlagen eingesetzt, ist deren Erzeugung mit keinen Emissionen belastet, da sie als Reste einer Produktion anfallen, die nicht der Energiegewinnung aus Biogas zugerechnet wird. Wie bereits erwähnt, werden durch weite Transportstrecken oder Verarbeitungsschritte, die über den üblichen Transportradius im Betrieb hinausgehen, Emissionen verursacht, die unbedingt berücksichtigt werden müssen. Solche erhöhten Emissionen können, wie das Beispiel oben zeigte, die positive Ökobilanz der Energiegewinnung aus Biogas umkehren.

Andererseits setzt jede Umsetzung organischen Materials (Wirtschaftsdünger, Pflanzen und -reste, Komposte u.a.) Emissionen an Kohlendioxid, Methan, Lachgas und Ammoniak frei. Im Vergleich zu anderen Verfahren des Abbaus organischer Substanz schließt die Erzeugung von Biogas aufgrund der geschlossenen Verfahrensweise am günstigsten ab. Eine solche Reduktion von Emissionen geht als „Gutschrift“ in die Ökobilanz ein. Auch bei der direkten Lagerung unbehandelter Gülle wird in erheblichem Umfang Methan und im nennenswerten Umfang Lachgas emittiert. Diese

bei der Biogasproduktion im Vergleich zu anderen Verfahren der Umsetzung organischer Materialien vermiedenen Emissionen können erhebliche Gutschriften zur Folge haben: Das Joanneum Institut für Energieforschung in Graz (Jungmeier et al., 1999) hat ermittelt, dass bei Nutzung des Biogases zur Strom- und Wärmeproduktion die Gutschrift aus der Emissionsvermeidung um ein Vielfaches größer sein kann, als die Emissionen aus der Biogasproduktion selbst: Alle Emissionen zur Biogasproduktion belaufen sich in der Summe auf 50 - 100 g CO₂ eq·kWh⁻¹, die vermiedene Emission durch den Verzicht der Güllelagerung kann mit 500 - 700 g CO₂ eq·kWh⁻¹ angesetzt werden, wodurch sich die Ökobilanz der Biogasproduktion und -nutzung auf ca. 525 g CO₂ eq·kWh⁻¹ beläuft.

8.5 Ökobilanz von Energiepflanzen als Substrate für Biogasanlagen

Speziell angebaute Energiepflanzen zur Biogaserzeugung können den Methanertrag gegenüber dem alleinigen Einsatz von Gülle merkbar steigern. Bei ihrem Einsatz ist die Ökobilanz des Anbaus mit zu berücksichtigen. Arten- und Sortenwahl, optimaler Erntezeitpunkt, hoher Trockenmassegehalt und Silagequalität der angebauten Energiepflanzen beeinflussen maßgebend die erreichbare Biogasausbeute (**s. Kap. 4**). Die Optimierung des Gesamtverfahrens ist daher für jeden Betrieb eine betriebswirtschaftliche Notwendigkeit. Die Ökobilanz sollte nicht auf die Basis der Anbaufläche (Hektar) oder der Trockenmasse bezogen werden, sondern wie im gesamten Energiebereich auf die erzeugte Energieeinheit (kWh). Bei den in Brandenburg möglichen Energiepflanzen zur Biogasproduktion beläuft sich die Ökobilanz auf 100 - 200

g CO₂ eq·kWh⁻¹ (Plöchl et al., in: Heiermann u. Plöchl, 2002; **Abb. 8.2**). Hierbei sind Transporte vom Feld zur Biogasanlage von durchschnittlich 10 km berücksichtigt. Erhöht sich die Transportentfernung, sind für jede weiteren 10 km ca. 5 - 12 g CO₂ eq·kWh⁻¹ zu berücksichtigen.

8.6 Auswirkungen auf die Landwirtschaft und das Grundwasser

Biogasanlagen landwirtschaftlicher Betriebe, die ihre Einsatzstoffe ausschließlich aus dem landwirtschaftlichen Bereich beziehen, wie Wirtschaftsdünger, Ernte- und Futterrückstände aus der pflanzliche Produktion und/oder direkt hierfür angebaute Energiepflanzen, erfüllen die Forderung nach weitestgehend geschlossenen Stoffkreisläufen.

Negative Auswirkungen auf die Umwelt, wie das Entstehen von Nährstoffüberhängen oder die Erhöhung der Schadstoffkonzentration im Boden sind reduzier- bzw. vermeidbar, wenn die Verwertung der anfallenden Gärreste auf landwirtschaftlich, gärtnerisch oder forstwirtschaftlich genutzten Böden ordnungsgemäß und nach guter fachlicher Praxis erfolgt. Die Verwertung ist als ordnungsgemäß anzusehen, wenn enthaltene Bioabfälle die Anforderungen der Bioabfallverordnung (BioAbfV) bzw. Klärschlammverordnung (AbfKlärV) einhalten und insbesondere die Schadstoffhöchstwerte soweit wie möglich unterschreiten (**vgl. Kap. 10**). Die Anforderungen an die gute fachliche Praxis werden erfüllt, wenn die Ausbringung der Gärreste zeitlich und mengenmäßig so erfolgt, dass die Nährstoffe von den Pflanzen weitestgehend genutzt und damit Nährstoffverluste sowie damit verbundene Einträge in die Gewässer überwiegend vermieden werden.

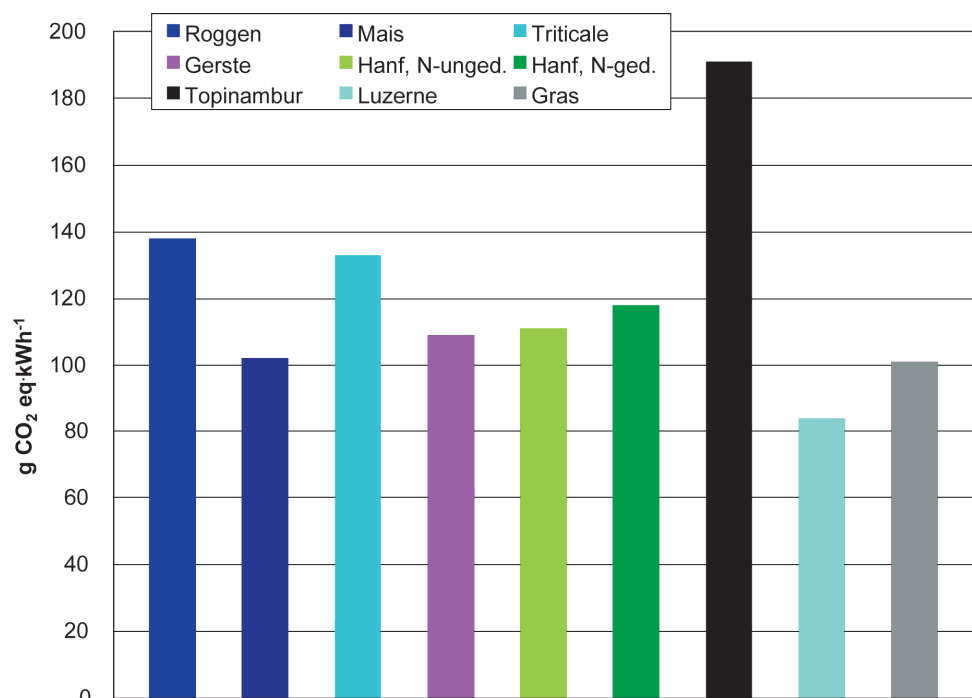


Abb. 8.2: Die Emissionen von Treibhausgasen (als CO₂-Äquivalente) aus dem Anbau einiger Energiepflanzen für die Biogasproduktion

Die anaerobe Behandlung verändert zum Teil die Eigenschaften der Einsatzstoffe. Auch die organischen Säuren der Gülle werden abgebaut (vgl. Kap. 6). Die Kopfdüngung mit Wirtschaftsdünger führt oft zu Verätzungen der Pflanze. Vergorene Gülle hingegen verursacht kaum bis keine derartigen Schäden, zum einen, weil die organischen Säuren reduziert bzw. abgebaut wurden und zum anderen, weil das verbesserte Fließverhalten der vergorenen Gülle die Einwirkzeit auf die Blätter verringert.

Unbestritten ist die verbesserte Homogenität und feinere Struktur der Gülle nach der Behandlung. Sie wird dadurch leichter pump- und spritzfähig und damit auch bei der Aufbringung besser dosierbar. Außerdem ist die Geruchsbelästigung erheblich vermindert.

Durch den bei der anaeroben Behandlung auftretenden Hygienisierungseffekt ist der Gärrest der meisten Verfahren, in Abhängigkeit der Temperatur, der Einwirkzeit und Verweildauer, phyto- und seuchenhygienisch unbedenklich. Die mögliche Gefahr des Eintrags von Schaderregern in den Boden, das Grundwasser und über die Pflanze in das Tier ist stark reduziert bzw. eliminiert. Auch bei Güllevergärung ohne separate Hygienisierung können pflanzliche und tierische Erreger in der Gülle abgetötet werden.

8.7 Fazit

Die dezentrale Energiebereitstellung, die durch die Erzeugung und Nutzung von Biogas im landwirtschaftlichen Betrieb besteht, hat erhebliche ökologische Vorteile gegenüber der Energiebereitstellung durch fossile und nukleare Energieträger. Insbesondere sind die erheblichen Umweltzerstörungen in den Förderländern durch den Abbau und die Umweltbelastungen durch den Transport der konventionellen Energieträger zu benennen.

Die Ökobilanz der Biogasproduktion und -nutzung ist somit im Vergleich zur Strom- und Wärmeproduktion aus fossilen und nuklearen Energiequellen als ausgesprochen positiv zu bewerten.

Die Treibhausgasbilanz der Strom- und Wärmeproduktion aus Braunkohle kann mit etwa 510 g CO₂ eq·kWh⁻¹ oder die von Erdgas in BHKW mit etwa

370 g CO₂ eq·kWh⁻¹ angesetzt werden. Im Vergleich dazu können bei alleiniger Nutzung von Gülle als Einsatzstoff bis zu 525 g CO₂ eq·kWh⁻¹ Treibhausgasemissionen eingespart werden bei gleichzeitiger Erzeugung von Strom und Wärme aus Biogas (Jungmeier et al., 1999). Bei der Erzeugung von Strom aus Biogas auf Basis von Energiepflanzen können Ökobilanzen von ca. 200 g CO₂ eq·kWh⁻¹ erreicht werden. Wird Strom aus Biogas auf der Basis von Energiepflanzen und Gülle zusammen erzeugt, liegen die Ökobilanzen zwischen -100 und 100 g CO₂ eq·kWh⁻¹. Wichtig ist bei der Verfahrensgestaltung, dass unnötige Transporte vermieden werden, z.B. durch eine Biogasproduktion nahe am Ort des Anfalls der Substrate. Die positive ökologische Bewertung der Biogasnutzung verbessert sich deutlich mit zunehmender Nutzung der anfallenden Wärme.

Literatur

- DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen. 08/1997. Bezugsquelle: Beuth Verlag GmbH, Berlin (D).
- Heiermann, M. u. Plöchl, M., eds. (2002): Tagungsband: Biogas und Energielandwirtschaft – Potenzial, Nutzung, Grünes Gas™, Ökologie und Ökonomie. 18.-19. November 2002 in Potsdam. Bornimer Agrartechnische Berichte Vol. 32, ATB, Potsdam-Bornim.
- IPCC, ed. (2001): Climate Change 2001, Cambridge University Press, Cambridge.
- Jungmeier, G., Canella, L., Spitzer, J., u. Stiglbrunner, R. (1999): Treibhausgasbilanz der Bioenergie: Vergleich der Treibhausgasemissionen aus Bioenergie-Systemen und fossilen Energiesystemen, Rep. No. IEF-B-06/99. Joanneum Research Institut für Energieforschung, Graz (A).
- Ökoinstitut u. GH Univ. Kassel (1987-2006): GEMIS – Gesamt-Emissions Modell Integrierter Systeme, Series GEMIS – Gesamt Emissions Modell Integrierter Systeme, Ökoinstitut.
- Vogt, R., Knappe, F., Giegrich u. J., Detzel, A. (2002): Ökobilanz Bioabfallverwertung, Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit von Systemen zur Verwertung von biologisch-organischen Abfällen. Ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Hrsg. Erich Schmidt Verlag, Berlin.