

Hans Bachmaier, Mathias Effenberger und Andreas Gronauer

Treibhausgasbilanz und Ressourcenverbrauch von Praxis-Biogasanlagen

Für zehn landwirtschaftliche Biogasanlagen wurde eine detaillierte Berechnung der Treibhausgasemissionen (THG) und des kumulierten Energieaufwands (KEA) erstellt. Im Vergleich zum fossilen Referenzsystem entstehen bei der Stromproduktion in allen Anlagen viel weniger klimaschädliche Emissionen. Die Einsparungen betragen zwischen 573 und 910 g CO_{2-eq} • kWh_{el}⁻¹. Ohne Berücksichtigung der fossilen Referenz für die Strombereitstellung reichen die Ergebnisse von einer Emissionsgutschrift in Höhe von 85 g CO_{2-eq} • kWh_{el}⁻¹ bis hin zu Emissionen in Höhe von 251 g CO_{2-eq} • kWh_{el}⁻¹. Der kumulierte Energieaufwand für die Biogasanlagen spart 2,31 bis 3,16 kWh_{fossil} • kWh_{el}⁻¹ ein, das ist ebenfalls erheblich niedriger als bei der fossilen Referenz.

Schlüsselwörter

Biogasanlage, Emissionen, kumulierter Energieaufwand, Treibhausgase

Keywords

Biogas plant, emissions, cumulated energy demand, greenhouse gases

Abstract

Bachmaier, Hans; Effenberger, Mathias and Gronauer, Andreas

Greenhouse gas balance and resource demand of biogas plants

Landtechnik 65 (2010), no. 3, pp. 208-212, 5 figures, 1 table, 7 references

For ten agricultural biogas plants, a detailed balance of greenhouse gas emissions (GHG) and cumulated energy demand (CED) was calculated. Compared to the reference system based on fossil resources, electricity production in the biogas plants avoids GHG emissions of 573-910 g CO_{2-eq} • kWh_{el}⁻¹. Without accounting for the substitution of electricity from the reference system, GHG emissions range from -85 g to 251 g CO_{2-eq} • kWh_{el}⁻¹. With savings of 2.31 to 3.16 kWh_{fossil} • kWh_{el}⁻¹, the CED of the biogas plants was also much lower compared to the fossil reference system.

■ Energie aus Biogas wird in erster Linie erzeugt, um die Treibhausgasemissionen der Energieproduktion aus fossilen Energieträgern zu reduzieren und um fossile Ressourcen einzusparen. Auf zehn unterschiedlich konzipierten Praxis-Biogasanlagen wurde überprüft, ob diese Erwartungen tatsächlich erfüllt werden oder ob Verbesserungen nötig sind. Als Indikatoren wurden die Treibhausgasemissionen und der kumulierte Energieaufwand (KEA) herangezogen.

Modellierung von Praxisanlagen

Ziel war es, eine möglichst praxisnahe und anlagenindividuelle Klima- und Energiebilanz aufzustellen. Mit der Software umberto® wurde ein Modell erstellt, um die Bilanzierung der Stoff- und Energieflüsse der Biogasanlage und der vorgelagerten Produktionsbereiche abzubilden. Der Bilanzierungsrahmen umfasste alle Prozesse, die zur Energieproduktion notwendig sind sowie die dazugehörigen Material- und Energieflüsse. Die Verfahrenskette Biogas wurde dazu wie folgt aufgeteilt:

- Erzeugung, Transport und Konservierung der pflanzlichen Rohstoffe bzw. Transport der Wirtschaftsdünger
- Betrieb der Biogasanlage
- Gärrestbehandlung
- Errichtung der Biogasanlage
- Vorketten (Bereitstellung von Strom, Treibstoff und mineralischen Düngemitteln)

Zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen wurden alle klimawirksamen Emissionen, die den Bilanzierungsraum verlassen, aufsummiert. In den kumulierten Energieaufwand ging der Primärenergiegehalt aller fossilen Energieträger ein, die von außerhalb des Bilanzierungsraums bezogen wurden [1; 2].

Das Hauptprodukt der betrachteten Biogasanlagen ist elektrischer Strom; als Bezugsgröße wurde daher eine Kilowattstunde elektrischer Strom gewählt. Alle Stoff- und Energieströme wurden auf diese Einheit bezogen. Neben dem Hauptprodukt elektrischer Strom entstehen verwertbare Nebenprodukte: Wärme und Dünger. Diese wurden über Gutschriften in der Sachbilanz berücksichtigt. Um die Ergebnisse einzuordnen, wurden alternative Lebenswege für In- und Outputs der Biogasanlagen berücksichtigt. Nach [3] ersetzt Biogasstrom zu 30 % Strom aus Gas-Kraftwerken und zu 70 % aus Steinkohlekraftwerken. In diesem Kraftwerksmix entstehen bei der Stromerzeugung Emissionen von $825 \text{ g CO}_{2\text{-eq}} \cdot \text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ und ein kumulierter fossiler Energieaufwand von $2,55 \text{ kWh}_{\text{fossil}} \cdot \text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$.

Datengrundlage

Die technischen Daten der Biogasanlagen wurden ausführlich beschrieben [4]. Der Untersuchungszeitraum umfasste das Kalenderjahr 2007. Die Material- und Energieströme wurden direkt aufgezeichnet oder auf Basis von Einzelmessungen ermittelt. Stoffströme, die nicht quantitativ erfasst werden konnten, wurden auf Basis von Literaturangaben geschätzt. Im Folgenden wird die Herkunft der Daten kurz dokumentiert.

Datengrundlage Nachwachsende Rohstoffe: Ernteketten; Anbau und Lagerung [5; 6]; mittlere Hektarerträge; „wendende Bodenbearbeitung“; Ammoniakverluste bei der Ausbringung von Gärrest sowie Mineraldüngerbedarf kulturartenspezifisch; Lachgasemissionsfaktor (N in Mineraldünger und Gärrest): 1,0 % [7]. Datengrundlage Betrieb der Biogasanlage: Substratzugabe; Eigenenergieverbrauch; Biogasproduktion und Stromproduktion der Anlagen tagesgenau; Stromversorgung der Anlage: aus eigener Stromproduktion, aus dem Stromnetz oder von eigenem

Kleinwasserkraftwerk; direkte Emissionen der Biogasanlage: 1 % der Biogasproduktion, mit Gasfackel: 0,25 %.

Datengrundlage Emissionen der Blockheizkraftwerke (BHKW): Einzelmessungen in der Anlage oder in baugleichen Biogas-BHKW; Leitungsverluste bis zum öffentlichen Stromnetz und Transformationsverluste auf Mittelspannung: 1 % des produzierten Stroms.

Datengrundlage Errichtung der Biogasanlage: Berücksichtigung der Materialien Beton, Asphalt, Stahl und Ziegel; Fernwärmeleitungen nicht berücksichtigt.

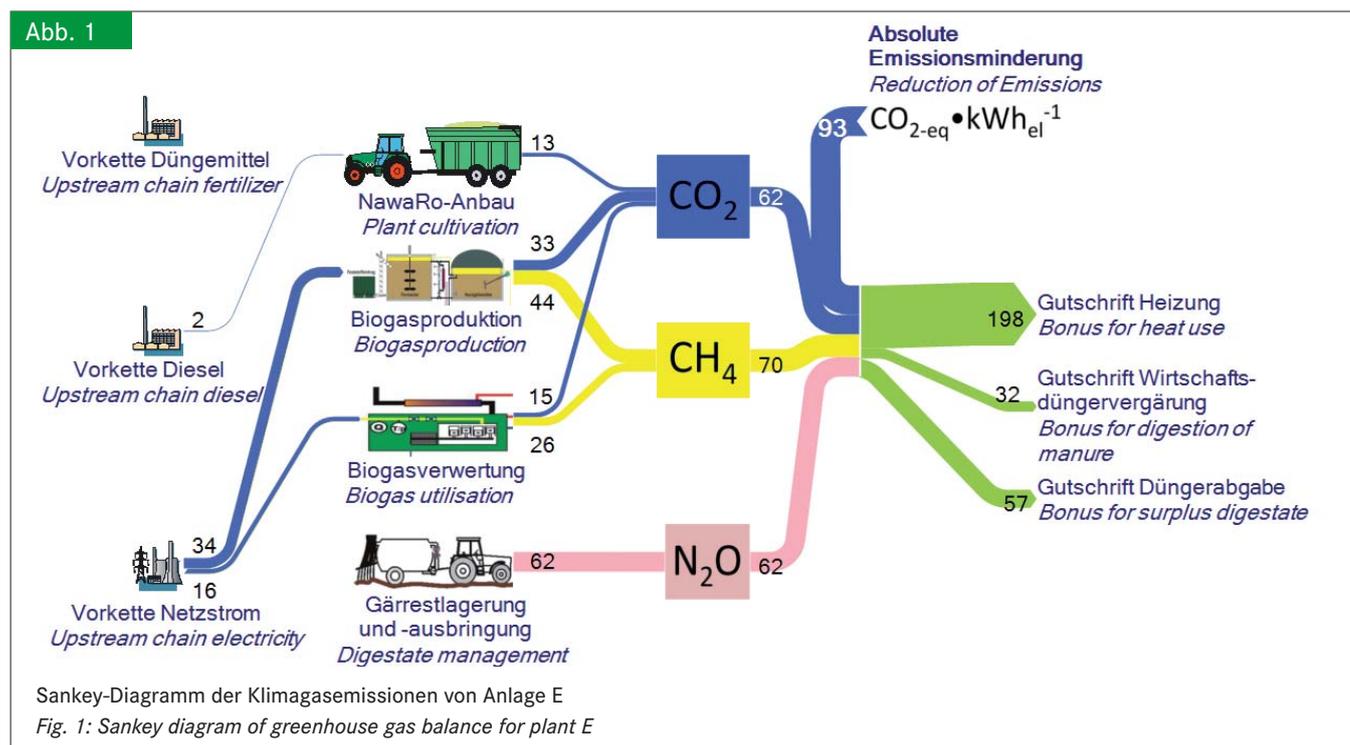
Datengrundlage Gärrestbehandlung: Methanemissionen aus offenem Gärrestlager: Abschätzung aus Restgaspotenzial im Gärversuch (20 °C).

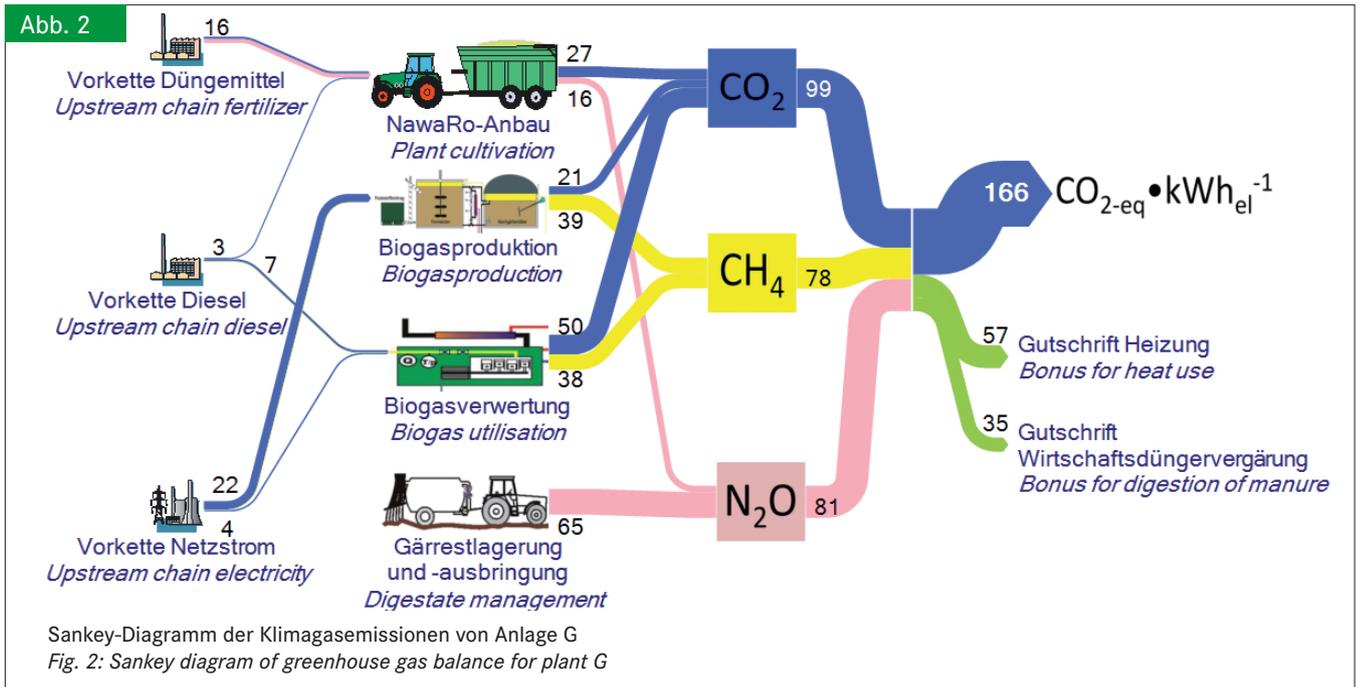
Bilanzen der Einzelanlagen

Um die Unterschiede zwischen den Anlagen hervorzuheben, werden die Ergebnisse ohne Bezug auf die Referenzsysteme dargestellt. Für die Anlagen E und G werden Sankey-Diagramme gezeigt (**Abbildung 1** und **2**). Das Klimasaldo ist dort geringfügig günstiger als in **Abbildung 3**, da bei den Sankey-Diagrammen die Aufwendungen für die Errichtung der Anlagen nicht berücksichtigt wurden.

Anlage A: Vergleichsweise geringe Methanemissionen; nur sehr geringe Gutschriften für Wirtschaftsdünger und Wärmenutzung.

Anlage B: Hohe Emissionen aus dem Betrieb der Anlage (hoher Strombedarf und hohe Emissionen aus dem offenen Gärrestlager); Anbau der NawaRo ohne zusätzlichen mineralischen Dünger; Stickstofffixierung durch Einsatz großer Mengen Klee-grassilage; Gutschrift für Gärrestabgabe an andere ökologisch wirtschaftende Marktfruchtbetriebe; geringer Anteil von Wirtschaftsdünger an den Einsatzstoffen; keine Wärmenutzung.





Anlage C: Anlagenbetrieb erfolgt vollständig mit Strom aus dem BHKW (Überschusseinspeisung), daher keine Emissionen aus der Vorkette der Strombereitstellung; sehr geringe direkte Methanemissionen aufgrund eines emissionsarmen BHKW und einer Gasfackel; hohe Gutschrift für Wärmenutzung.

Anlage D: Kein Wirtschaftsdüngereinsatz; durchschnittliche Wärmenutzung; hohe Emissionen für den Anbau der NawaRo wegen vergleichsweise schlechter Silagequalität und biologischer Probleme bei der Vergärung.

Anlage E: Günstigste THG-Bilanz mit einer Netto-Vermeidung von 85 g CO₂-eq • kWh_{el}⁻¹; hoher Anteil an Hähnchenmist spart NawaRo ein; rechnerisch kein Bedarf an zusätzlichem mineralischen Dünger (**Abbildung 1**); Düngergutschrift für Gärrestabgabe; gute Wärmenutzung.

Anlage F: Einsatz größerer Mengen an Hähnchenmist verringert den Bedarf an pflanzlichen NawaRo; kein Zukauf von mineralischem N-Dünger; sehr gute Wärmenutzung; Gasfackel; bauartbedingt hoher Methanschlupf des BHKW; Gärrest wird separiert und die feste und flüssige Phase werden offen gelagert: Für die Treibhausgasbilanz wurden nur die Emissionen der flüssigen Phase berücksichtigt.

Anlage G: Kontinuierlicher Wirtschaftsdüngereinsatz (Tierhaltung vorhanden); durchschnittliche Wärmenutzung; bauartbedingt hoher Methanschlupf des BHKW; hoher Verbrauch an fossilen Ressourcen während des Anlagenbetriebs (Strombezug aus Netz, Zündstrahl-BHKW) (**Abbildung 2**).

Anlage H: Gute Wärmenutzung; hohe Methanemissionen mit dem BHKW-Abgas; Betriebsstrom teils aus hofeigener kleiner Wasserkraftanlage, teils aus dem Stromnetz; offenes Gärrestlager; BHKW mit hohem Zündölverbrauch.

Anlage I: Relativ gute Wärmenutzung; kleiner Anteil an Wirtschaftsdünger; Emissionen aus dem offenen Gärrestlager verschlechtern die Klimabilanz um 65 g CO₂-eq • kWh_{el}⁻¹.

Anlage J: Gutschrift von 99 g CO₂-eq • kWh_{el}⁻¹ für eingesetzte Wirtschaftsdünger, genutzte Abwärme und offenes Gärrestlager.

Schlussfolgerungen

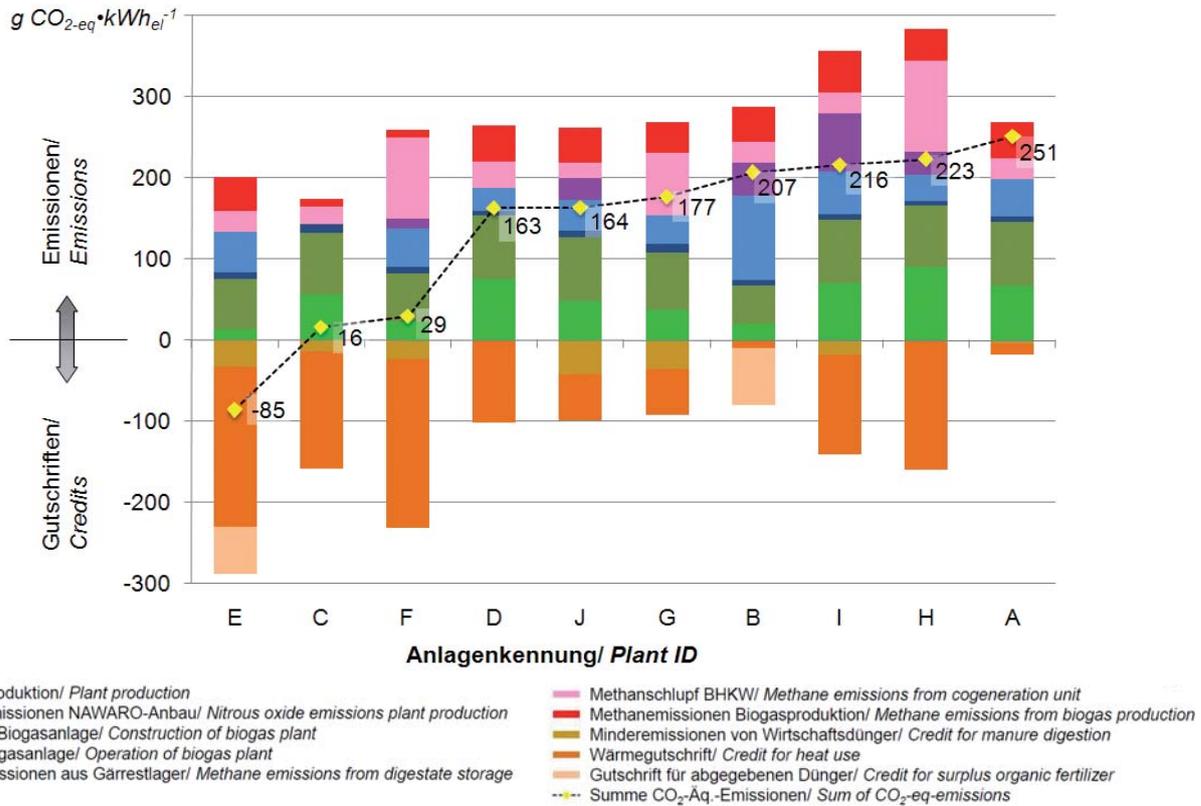
Im Vergleich zum fossilen Referenzsystem sparen alle Biogasanlagen erhebliche Mengen an klimaschädlichen Emissionen ein. Die Einsparungen betragen zwischen 573 und 910 g CO₂-eq • kWh_{el}⁻¹ (**Tabelle 1, Abbildung 3**). Gegen Null bilanziert, also ohne Berücksichtigung der fossilen Referenz für

Tab. 1

Treibhausgasbilanz und kumulierter fossiler Energieaufwand (KEA) der Praxisanlagen inkl. Gutschrift für Stromeinspeisung
 Table 1: Greenhouse gas balance and cumulated energy demand (CED) of biogas plants including substitution of grid electricity

Anlage/Plant	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Treibhausgasbilanz inkl. Gutschrift für Stromeinspeisung Greenhouse gas balance including substitution of grid electricity [g CO ₂ -eq • kWh _{el} ⁻¹]	-573	-617	-808	-662	-910	-795	-648	-601	-608	-661
KEA inkl. Gutschrift für Stromeinspeisung CED including substitution of grid electricity [kWh _{fossil} • kWh _{el} ⁻¹]	-2,3	-2,3	-2,9	-2,7	-3,2	-3,1	-2,3	-2,3	-2,8	-2,5

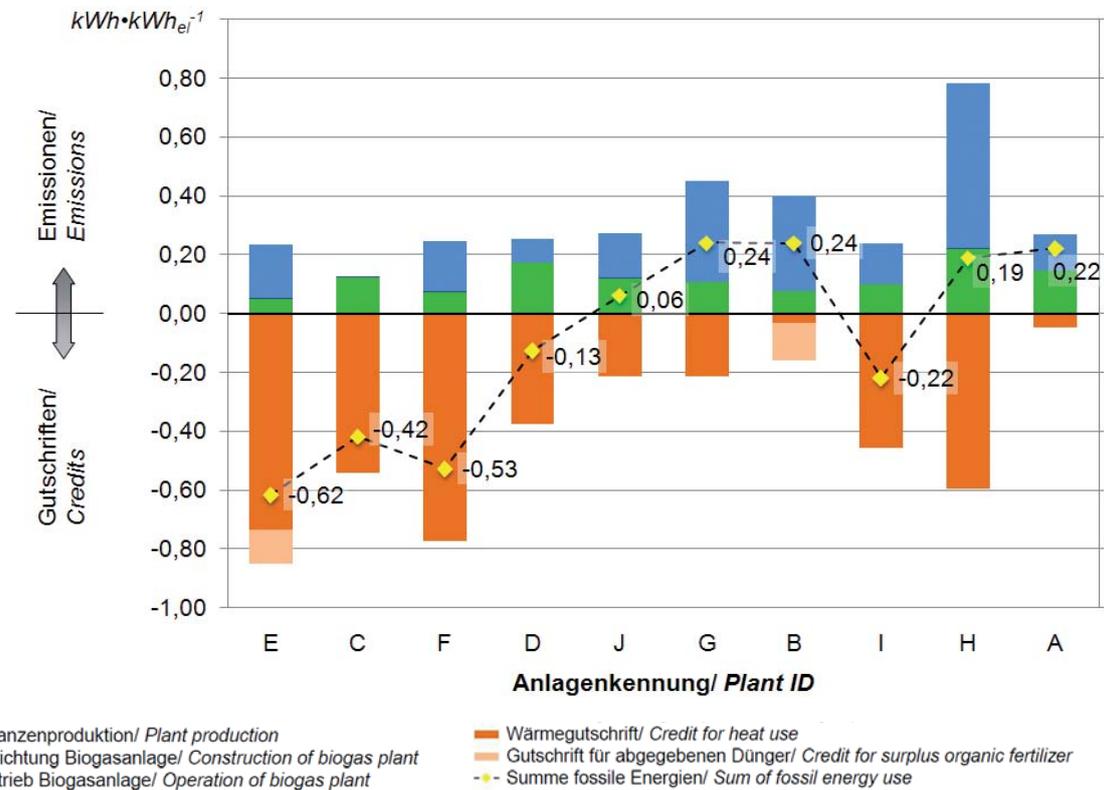
Abb. 3



Treibhausgasbilanz der 10 Praxis-Biogasanlagen ohne Gutschrift für Stromerzeugung („Null-Szenario“)

Fig. 3: Greenhouse gas balances of the ten biogas plants not including substitution of grid electricity (Baseline scenario)

Abb. 4



Kumulierter fossiler Energieaufwand der 10 Praxis-Biogasanlagen ohne Gutschrift für Stromerzeugung („Null-Szenario“)

Fig. 4: Cumulated energy demand of the ten biogas plants not including substitution of grid electricity (Baseline scenario)

die Strombereitstellung, reichen die Emissionsgutschriften von 85 bis 251 g CO_{2-eq} • kWh_{el}⁻¹. Die Treibhausgasbilanzen sind stark anlagenabhängig und können sich auch im Lauf der Zeit verändern. Wesentliche Faktoren für mögliche Veränderungen der Klimabilanz sind eine verbesserte Wärmenutzung, eine nachträgliche Abdeckung des Gärrestlagers und die Umstellung eines Zündstrahl-BHKWs von Diesel auf Pflanzenöl.

Die Energiebilanz zeigt, dass Strom aus Biogas auch erheblich zur Einsparung fossiler Ressourcen beitragen kann. Die Einsparungen betragen zwischen 2,31 und 3,16 kWh_{fossil} • kWh_{el}⁻¹. (Tabelle 1, Abbildung 4). Fossile Energie wird vor allem aufgewandt für den Dieseleinsatz der Landmaschinen, den Bezug von elektrischer Energie für den Anlagenbetrieb aus dem öffentlichen Stromnetz und die Herstellung mineralischer Düngemittel. Auch hier sind die Ergebnisse wie bei den Treibhausgasemissionen sehr anlagenspezifisch. Bei Biogasanlagen korreliert der KEA nicht zwingend mit der Treibhausgasbilanz, da bereits geringe Mengen an Methan- bzw. Lachgasemissionen stark klimawirksam sind, die Energiebilanz hierdurch jedoch nicht beeinflusst wird.

Literatur

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] DIN, Deutsches Institut für Normung e.V.: Umweltmanagement-Ökobilanz-Grundsätze und Rahmenbedingungen ISO 14040:2006, EN ISO 14040:2006, Berlin
- [2] DIN, Deutsches Institut für Normung e.V.: Umweltmanagement-Ökobilanz-Anforderungen und Anleitungen ISO 14044:2006, EN ISO 14044:2006, Berlin
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung. Berlin, 2007
- [4] Effenberger, M.; H. Bachmaier, E. Kränzel, A. Lehner und A. Gronauer: Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern. Abschlussbericht an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising, 2010
- [5] ● Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): Energiepflanzen. Darmstadt, 2006
- [6] ● Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09. Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft - mit Internetangebot. Darmstadt, 2008
- [7] Umweltbundesamt: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009. Nationaler Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar (1990-2007). Berlin, 2009, S. 365

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Hans Bachmaier und **Dr.-Ing. Mathias Effenberger** sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Biogastechnologie und Reststoffmanagement am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Vöttinger Str. 36, 85354 Freising, E-Mail: hans.bachmaier@LfL.bayern.de und mathias.effenberger@LfL.bayern.de

Dr. agr. Andreas Gronauer ist Leiter der Arbeitsgruppe Biogastechnologie und Reststoffmanagement der LfL, E-Mail: andreas.gronauer@LfL.bayern.de

Danksagung

Die Arbeiten wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziell gefördert.