

# Emissionen aus Vergärungsanlagen

## – Erfahrungen aus dem landwirtschaftlichen Bereich und aus der Abfallbehandlung –

Jan Liebetrau, Jaqueline Daniel-Gromke und Christian Krebs

1.	Hintergrund.....	338
2.	Methodik.....	340
2.1.	Emissionsmessungen.....	341
2.2.	THG-Bilanzierung.....	343
3.	Ergebnisse.....	344
3.1.	Landwirtschaftliche Anlagen.....	344
3.2.	Anlagen zur Vergärung von Bioabfällen.....	346
4.	Minderungsmaßnahmen.....	348
5.	Fazit.....	350
6.	Literatur.....	350

### Kurzfassung

Der Beitrag befasst sich mit Untersuchungen der entstehenden klimarelevanten Emissionen durch landwirtschaftliche Biogasanlagen (BGA) und Bioabfallbehandlungsanlagen mit Vergärungsstufe, die im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der Emissionsmessungen erlauben eine ökologische Bewertung der untersuchten Biogasanlagen und eine Darstellung von möglichen Minderungsmaßnahmen zur Reduzierung der klimarelevanten Emissionen und schaffen somit eine aktuelle und belastbarere Datengrundlage für die Bewertung der ökologischen Auswirkungen des Betriebes von Biogasanlagen. Die ökologische Bewertung konzentriert sich auf die Darstellung der Treibhausgas-Bilanz. Die Auswertungen weisen aufgrund der unterschiedlichen Anlagenkonzepte eine große Bandbreite auf. Es zeigt sich jedoch, dass die Energieproduktion aus Biogas einen erheblichen Beitrag zur Reduktion der klimarelevanten Gase leisten kann und bei der Bioabfallbehandlung eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Ergänzung zur stofflichen Nutzung ist, wenn die Optimierungspotenziale hinsichtlich der Anlagentechnologie und Betriebsweise der Anlagen erkannt und genutzt werden.

## 1. Hintergrund

Mit dem 2010 aufgestellten Energiekonzept der Bundesregierung wurden definierte Zielwerte zur Reduktion von Treibhausgasemissionen einhergehend mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien auf 100 % Energieversorgung bis 2050 und einer Senkung des Primärenergiebedarfes um 50 % vorgegeben [6]. Die nachhaltige und effiziente Nutzung der Bioenergie, bedingt durch das breite Einsatzspektrum und ihre Speichermöglichkeit, ist dabei eine wichtige Komponente. Aufbauend auf den Monitoring-Bericht zum EEG 2012 [1] prognostiziert die Deutsche Biomasseforschungszentrum gGmbH (DBFZ) für das Jahr 2012 in Deutschland einen Zubau von etwa 400 Biogasanlagen. Die Gesamtanzahl wird damit zum Ende des Jahres 2012 auf etwa 7.600 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Anlagenleistung von rund 3,2 GW geschätzt (Bild 1). Wobei der größte Teil der Anlagen dem landwirtschaftlichen Sektor zuzuordnen ist.

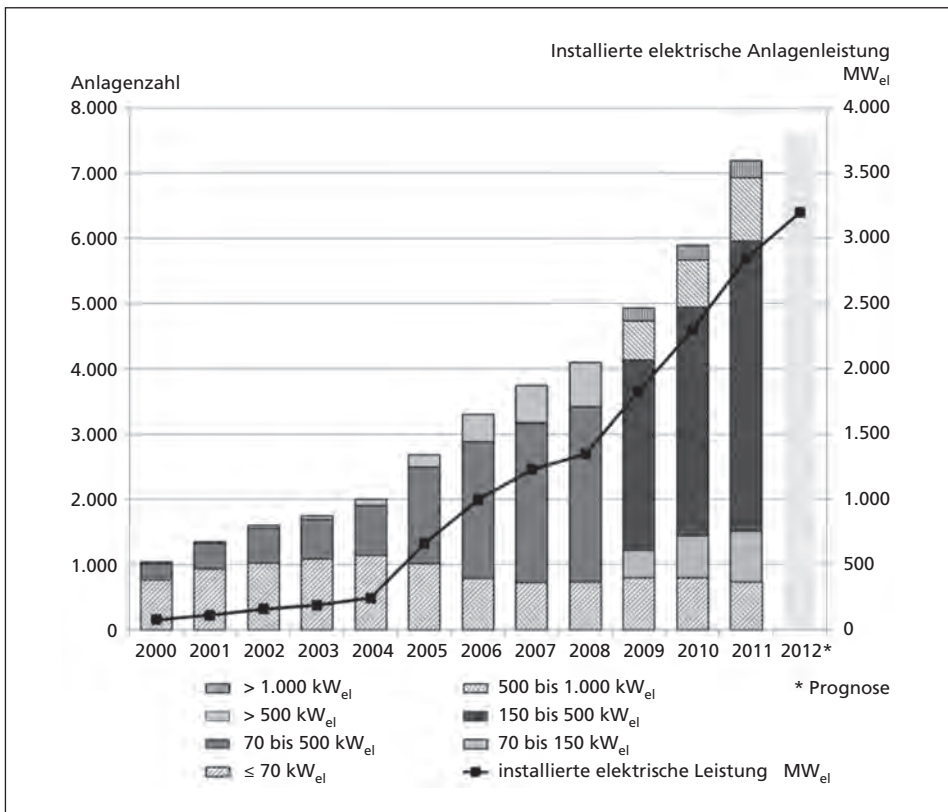


Bild 1: Entwicklung des Biogasanlagenbestandes und der installierten Anlagenleistung in Deutschland

Auf dem Gebiet der biologischen Abfallbehandlung führt das statistische Bundesamt für das Jahr 2010 992 Biogas-/Vergärungsanlagen auf, welche für den Einsatz von Bioabfall zugelassen sind. Im Berichtsjahr 2010 wurden bei 724 Anlagen keine Abfälle eingesetzt,

so dass demnach in 268 Anlagen Bioabfälle verarbeitet wurden. Aus den statistischen Daten kann man entnehmen, dass etwa 8,8 Mio. t organischer Abfälle auf Basis von aerober und anaerober Behandlungsverfahren im Jahr 2010 verwertet wurden [7]. Mit der Novellierung des Gesetzes für den Vorrang erneuerbarer Energien z.B. § 27a (EEG) [11], der Bioabfallverordnung [12] und des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) [13] sind gesetzliche Vorgaben und Anreize geschaffen, die einen verstärkten Einsatz von Vergärungsanlagen zur Gewinnung von Biogas bei der Behandlung von Bioabfällen erwarten lässt. Mit diesem Aspekt der stofflichen und energetischen Nutzung der Bioabfälle erfolgt in vielen Fällen eine Kombination aus mehreren Verwertungswegen in Form von Biogasanlage und Kompostierungsanlage. So wird verfahrensspezifisch entweder die gesamte Menge angelieferter Bioabfälle (Vollstromvergärung) oder nur ein Teil (Teilstromvergärung) durch eine Biogasanlage behandelt. Im Interesse des Klimaschutzes fordert die Emissionsberichterstattung gemäß der Klimakonvention und dem Kyoto-Protokoll eine quantitative Einschätzung der Emissionen der Energiegewinnung aus Biomasse und der biologischen Abfallbehandlung. Biogasanlagen müssen so betrieben werden, dass sie nicht durch ihre Emissionen von Treibhausgasen (THG) u.a. Luftschadstoffe im Anlagenbetrieb schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen oder durch Unfälle und Betriebsstörungen Umwelt und menschliche Gesundheit gefährden [8]. In verschiedenen wissenschaftlichen Publikationen wird auf das keinesfalls zu vernachlässigende Problem der Restmethanemission hingewiesen, durch die der klimabezogene Ertrag einer Vergärungsanlage um mehr als 50 % vermindert werden kann [9]. Um zu belegen, dass eine Reduzierung der klimarelevanten Emissionen gegenüber konventionellen Verfahren gegeben ist, sind klimarelevante Wirkungen der Energiebereitstellung zu bilanzieren.

Bislang wurden für den Biogasprozess pauschale Annahmen getroffen, da ein umfassendes Messprogramm nicht realisiert werden konnte. Durch die Förderung von Forschungsvorhaben des BMELV, BMU und UBA konnten tatsächlich anfallenden Emissionen bei den ausgewählten großtechnischen Biogasanlagen größtenteils repräsentativ erfasst werden. Dabei wurden sowohl landwirtschaftliche Biogasanlagen als auch Anlagen zur Vergärung von Bioabfällen betrachtet.

In folgenden Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit mit verschiedenen Projektpartnern wurde und wird die Emissionssituation von Biogasanlagen durch Praxismessungen untersucht.

1. *Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen* (FKZ: 206 33326); UFOPLAN 2006/UBA; Projektpartner: gewitra; Laufzeit: 2006-2008
2. *Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffströmen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der Deutschen Landwirtschaft* (FKZ: 22023606); Fördermittelgeber/Projektträger: BMELV/FNR e.V.; Projektpartner: DBFZ, gewitra, vTI; Laufzeit: 2008-2011 [2]
3. *Analyse von Emissionen klimarelevanter Gase durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der Biogasgewinnung aus Abfällen* (FKZ: 03KB027), Fördermittelgeber/Projektträger: BMU / PTJ; Projektpartner: DBFZ, gewitra; Laufzeit: 2009-2012

4. *Ermittlung der Emissionssituation bei der Vergärung von Bioabfällen und Ableitung von Vorschlägen zur Verbesserung der Klimabilanz und des Emissionsverhaltens bei Bioabfallvergärungsanlagen* (FKZ: 370944320,) UFOPLAN 2009/UBA, Projektpartner: gewitra, DBFZ; Laufzeit: 2009-2012
5. *Klimaeffekte einer Biomethanwirtschaft* (FKZ: 22009310); Fördermittelgeber/Projektträger: BMELV/FNR e.V., Projektpartner: DBFZ, Verbio AG, WELtec Biopower GmbH/Nordmethan GmbH, E.ON Ruhrgas AG; Laufzeit: 2011-2014

Im Fokus der folgenden Darstellungen stehen die Messergebnisse der untersuchten Biogasanlagen der Vorhaben Nr. 2 und 3, wobei Nr. 3 eng mit Vorhaben Nr. 4 verknüpft ist und beide auf Vorhaben Nr. 1 aufbauen.

## 2. Methodik

Die in landwirtschaftliche Biogasanlagen und Bioabfallbehandlungsanlagen differenzierten Vorhaben weisen annähernd gleiche methodische Vorgehensweisen auf, da sie in ähnliche Arbeitsschwerpunkte gegliedert sind. In beiden Vorhaben erfolgt eine Erhebung emissionsrelevanter Daten aus der Auswertung versendeter Fragebögen an Anlagenbetreiber. Die auf den Biogasanlagen in verschiedenen Messphasen durchgeführten Emissionsmessungen bilden die Basis für eine ökologische Bewertung dieser Anlagen in Form von THG-Bilanzen. Aus den Emissionsmessungen und den begleitenden Untersuchungen werden emissionsmindernde Maßnahmen abgeleitet.

Tabelle 1: Arbeitsschwerpunkte der Forschungsvorhaben 2 und 3

	BGA Landwirtschaft	BGA Bioabfall
1	Datenerhebung zum Anlagenbestand – Befragung der Anlagenbetreiber	
2	Messungen auf zehn Biogasanlagen	Messungen auf zwölf Biogasanlagen
3	Messungen zu THG Emissionen nach der Ausbringung von Gärrückständen	
4	Begleitende Untersuchungen zu Auswirkungen der Prozessführung auf das Emissionspotenzial von Gärresten, Laborsimulation zu Emissionen aus Vorgruben bzw. Anmischbehältern	Untersuchungen zum Restgaspotenzial der Gärrückstände aus der anaeroben Bioabfallbehandlung
5	Ökobilanzielle Bewertung der Ergebnisse	
6	Darstellen von Maßnahmen zur Emissionsminderung	

Mit der Zielstellung einen möglichst breiten Überblick über angewendete Technologien zu erhalten, wurden in Zusammenarbeit mit den Fachverbänden repräsentative Anlagen ausgewählt.

Landwirtschaftliche Biogasanlagen:

- 9 x kontinuierlicher Betrieb (liegende und stehende Fermenter)
- 1 x diskontinuierlicher Betrieb (Garagenverfahren)
- Mesophile und thermophile Betriebsweise

- Einstufig und mehrstufig
- 8 x BHKW installierte Leistung durchschnittlich 560 kW<sub>el</sub>
- 2 x Biogasaufbereitung und Einspeisung

Anlagen zur Vergärung von Bioabfällen:

- 4 x Nassvergärung, kontinuierlicher Betrieb (stehende Fermenter)
- 5 x Trockenvergärung, kontinuierlicher Betrieb (liegende Fermenter)
- 3 x Feststoffvergärungsanlage, diskontinuierlicher Betrieb (Garage)
- Mesophile und thermophile Betriebsweise, einstufig
- BHKW installierte Leistung durchschnittlich 600 kW<sub>el</sub>
- 8 Anlagen kombiniert mit nachgeschaltetem Rotteverfahren bzw. Kompostierung
- 1 Anlage mit nachgeschaltetem Trocknungsprozess
- 3 Anlagen mit ausschließlich anaerober Behandlung

## 2.1. Emissionsmessungen

Die gewitra mbH führte die Messungen an den ausgewählten Biogasanlagen durch, bei denen die Emissionen der Gase Methan, Lachgas und Ammoniak in möglichst mehreren Messphasen untersucht wurden. Emissionsmessungen wurden bei den betrachteten Anlagen an den in Tabelle 2 dargestellten Anlagenkomponenten bzw. Probenahmestellen, die als emissionsrelevant eingeschätzt werden, vorgenommen.

Tabelle 2: Untersuchte Probenahmestellen bzw. Emissionsquellen der BGA

BGA Landwirtschaft	BGA Bioabfall
Gasverwertung (BHKW, Biogasaufbereitungsanlage)	Gasverwertung (BHKW)
Fermenter (Betondach, Foliendach)	Fermenter
Gärrestlager (gasdicht, abgedeckt, offen)	Gärrückstandslager (gasdicht, abgedeckt, offen)
Beschickungssystem (Feststoffdosierer, Anmaischtank, Vorgrube)	Anlieferung und Aufbereitung der Bioabfälle
Silagelagerung	Hydrolyse
	Gärrückstandseparierung, Gärrückstandstrocknung
	natürliche und zwangsbelüftete Rotteverfahren
	vor und nach Abgasbehandlung (saurer Wäscher und Biofilter)

Bei den Anlagen zur Vergärung von Bioabfällen wurden im Rahmen der Messphasen bei allen Anlagen mindestens die Probenahmestellen aller gefassten Emissionen vor und nach der Behandlung durch den Biofilter der Vergärung untersucht. In Abhängigkeit vom Anlagenkonzept und den messtechnischen Möglichkeiten wurden weitere Verfahrensbereiche untersucht.

Bei der Analyse der auftretenden Emissionen ist grundsätzlich in gefasste und offene Emissionsquellen zu unterscheiden. Abfallbehandlungsanlagen verfügen in der überwiegenden Zahl der Fälle über Abluftfassungssysteme, die Luft aus den gekapselten Verfahrensbereichen absaugen, zusammenführen und über eine Reinigungsstufe in die Atmosphäre abgeben. In den meisten Fällen besteht die Reinigung aus einem Biofilter, dem ggf. ein Luftbefeuchter oder saurer Wäscher vorgeschaltet ist. Auf landwirtschaftlichen BGA sind Abluftfassungssysteme nicht üblich. Emissionen die durch Leckage, Substrathandling und Substratlagerung entstehen sind den diffusen Emissionen zuzuordnen.

Für die Analyse der Emissionen wird, wenn möglich, bei den gekapselten Emissionsquellen der Abluftstrom der Erfassungssysteme direkt untersucht. Hier werden die Volumenströme und die Konzentrationen in den entsprechenden Rohrleitungssystemen erfasst. Die Volumenströme werden mit Flügelradanemometer oder Staurohrsonden erfasst. Dazu werden 10 Einzelmessungen durchgeführt, aus denen das arithmetische Mittel gebildet wird. Das verwendete Flügelradanemometer ist ein Vane Anemometer Typ 1416, das eingesetzte Staurohr mit Manometer ist ein AIRFLOW-Staurohr mit Digital-Manometer Modell DM30. Während der Emissionsmessungen wird sichergestellt, dass die Volumenströme sehr konstant sind, sodass auf eine kontinuierliche Messung verzichtet werden kann.

Die Emissionen, die flächig (diffus) auftreten und nicht von einer Abluftfassung erfasst werden, müssen auf anderem Wege gemessen werden. Grundsätzlich sind aus der Untersuchung von Deponien verschiedene Methoden bekannt, um solche Emissionen zu bestimmen. In den meisten Fällen werden hierfür Haubensysteme eingesetzt. Der Einsatz von geschlossenen Hauben ist mit einigen Nachteilen verbunden. Zum einen können sie immer nur eine begrenzte Oberfläche abbilden, zum anderen haben die Hauben die Eigenschaft, Strömungsverhältnisse zu verändern, so dass von einer ungestörten Probenahme nicht ausgegangen werden kann. Für die Messung solcher Quellen wurden spezielle Methodiken entwickelt [2, 10]. Für die Bestimmung der Konzentration finden die in Tabelle 3 aufgeführten Messverfahren Anwendung.

Tabelle 3: Messverfahren, Messtechnik und Richtlinien zur Konzentrationsmessung der Emissionen

Stoff	Messwerterfassung	Messverfahren	Messtechnik	VDI-Richtlinie, Norm
Gesamtkohlenstoff	kontinuierlich, Onlinedaten	FID-Verfahren	Bernath Atomic 3006	VDI 3481 Blatt 3, VDI 3481 Blatt 4, DIN EN 12619, DIN EN 13526
Methan	kontinuierlich, Onlinedaten	IR-Verfahren	ABB Advance Optima URAS 14	
Lachgas	kontinuierlich, Onlinedaten	IR-Verfahren	ABB Advance Optima URAS 14	DIN EN ISO 21258
Methan	diskontinuierlich, Laboranalyse	GC-Verfahren mit Autosampler	Probenahme mit evakuierten Vials	DIN EN ISO 25139
Lachgas	diskontinuierlich, Laboranalyse	GC-Verfahren mit Autosampler	Probenahme mit evakuierten Vials	VDI 2469 Blatt 1
Ammoniak	diskontinuierlich, Laboranalyse	Nasschemisches Verfahren mit Schwefelsäure	Probenahme mit Desaga-Pumpe und 2 Waschflaschen	VDI 3496 Blatt 1

Die an den Komponenten der einzelnen Anlagen gemessenen Emissionen wurden, sofern es möglich war mehrere Messwerte zu erhalten, gemittelt. Die gemessenen Massenströme wurden auf die produzierte Strommenge bezogen, wobei von einer Auslastung des BHKW von 100 % zum Zeitpunkt der Messung ausgegangen wurde. Die zur Auslastung des BHKW benötigte Methanmenge wurde unter der Annahme eines elektrischen Wirkungsgrades von 40 % und einem Energiegehalt von  $10 \text{ kWh/m}^3$  Methan errechnet. Diese Größe diente als Basis, um die ermittelten Emissionen in Relation zu der umgesetzten Methanmenge darzustellen.

Die Durchsatzleistung einer Anlage ist im Bereich der Bioabfallbehandlung ein wichtiges Beurteilungskriterium. Deshalb werden bei diesem Forschungsvorhaben die ermittelten Emissionen zusätzlich in Bezug zur behandelten Bioabfallmenge dargestellt.

### 2.2. THG-Bilanzierung

Ausgehend von den Ergebnissen der Emissionsmessungen werden Treibhausgas (THG)-bilanzen erstellt. Die Bilanzierung erfolgt in Anlehnung an die international gültigen Normen ISO 14040 und ISO 14044 [3, 4]. Als klimarelevante Gase werden Methan, Lachgas und Ammoniak berücksichtigt. Zur Berechnung der Treibhausgasemissionen finden die  $\text{CO}_2$ -Konversionsfaktoren auf Basis der IPCC 2007 [5] Anwendung ( $\text{CO}_2 = 1$ ;  $\text{N}_2\text{O} = 298$ ;  $\text{CH}_4 = 25$ ). Hinsichtlich der Ammoniakemissionen wird angenommen, dass 1 % der Ammoniakemissionen zu Lachgas umgesetzt werden können.

Der Bilanzierungsrahmen der betrachteten Biogaspfade umfasst die gesamte Bereitstellungskette zur Stromerzeugung aus Biogas von der Bereitstellung der Biomasse über die Konversion zu Biogas und die Verstromung des Biogases. In 2 von 10 der landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird das Biogas zu Biomethan aufbereitet (Anlage 8 und 9). Der Bilanzierungsrahmen wird daher für diese 2 Anlagen um die Biogasaufbereitung ergänzt. Für die Darstellung der Treibhausgas-Bilanzen wird angenommen, dass das Biomethan ebenfalls in einem BHKW verstromt wird.

Die für die Bilanzierung gültige funktionelle Einheit wird für die dargestellten Treibhausgasemissionen (THG) als Bereitstellung von 1 kWh Strom definiert. Diese Einheit wurde zur besseren Vergleichbarkeit auch für die Darstellung der Anlagen zur Bioabfallvergärung gewählt, auch wenn die Anlagen in erster Linie die Verwertung der Bioabfälle und nicht die Energieproduktion im Fokus haben.

Die mit der Produktion des Biogases und Nutzung im BHKW verbundenen Aufwendungen und Emissionen werden in der Bilanzierung des Stroms aus Biogas berücksichtigt. Darüber hinaus können die bei der Stromerzeugung anfallenden Koppelprodukte als Gutschriften berücksichtigt werden. Die bei der Stromerzeugung im BHKW anfallende und genutzte Wärmemenge kann fossile Energieträger ersetzen und somit als Wärmegutschrift angerechnet werden. Die Höhe der Wärmegutschrift richtet sich dabei nach der Höhe der Wärmemenge und der Art der fossilen Wärme, die durch die Wärmenutzung ersetzt wird und basiert auf den Betreiberangaben. Ferner können durch den Einsatz von Gülle zur Biogaserzeugung die bei der konventionellen Güllelagerung entstehenden THG-Emissionen vermieden werden. Diese *eingesparten* Emissionen

werden der THG-Bilanz des betrachteten Biogasprozesses gutgeschrieben (Gülle-gutschrift), wenngleich hinsichtlich der Quantifizierung der Emissionen erhebliche Unsicherheiten bestehen. Für die Anlagenkonzepte mit Gülleanteil wird die Annahme getroffen, dass 15 % des Biogaspotenzials aus dem Gülleanteil (Gülle, Festmist) als sog. Güllegutschrift für vermiedene Emissionen im Vergleich zur herkömmlichen Güllelagerung angesetzt werden. Hinsichtlich der Düngung wird unterstellt, dass die Gärreste auf den Anbauflächen zurückgeführt werden und entsprechend der Stickstoffgehalte im Gärrest Mineraldüngermengen substituieren. Die Darstellung der Endergebnisse der landwirtschaftlichen Biogasanlagen berücksichtigt diese Gutschriften. Bei den vorläufigen Ergebnissen ausgewählter Bioabfallvergärungsanlagen werden vorerst nur die anlagenseitigen Emissionen dargestellt.

### 3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Emissionsmessungen für die landwirtschaftlichen Biogasanlagen als Treibhausgasbilanzen dargestellt. Da die THG-Bilanzierung für das Forschungsvorhaben der Bioabfallbehandlungsanlagen noch nicht abgeschlossen ist, werden hier einzelne Zwischenergebnisse aufgeführt. Die abgebildeten Ergebnisse basieren auf punktuelle Emissionsmessungen an verschiedenen Anlagenkomponenten ausgewählter Biogasanlagen, so dass Rückschlüsse auf die Emissionsbilanz der Anlagen mit Blick auf das gesamte Jahr nicht möglich sind. Die Ergebnisse sollen in erster Linie die emissionsrelevanten Quellen bestehender Anlagen verdeutlichen und Optimierungspotenziale aufzeigen. Darüber hinaus waren nicht alle vorhandenen Anlagenkomponenten bei allen betrachteten Anlagen gleichermaßen messtechnisch erfassbar.

#### 3.1. Landwirtschaftliche Anlagen

Die Ergebnisse der Treibhausgasbilanz – ausgewiesen als Treibhausgasemissionen in  $\text{g CO}_2$ -Äquivalente je  $\text{kWh}_{\text{el}}$  – sind in Bild 2 grafisch dargestellt. Abgebildet sind die Treibhausgasemissionen der betrachteten Biogasanlagenkonzepte für die jeweiligen Prozessschritte und Anlagenkomponenten, wobei Emissionen aufgrund von Störfällen (wie nicht gasdichte Fermenterklappe, nicht funktionsfähige Nachverbrennung) in dieser Darstellung nicht berücksichtigt werden. Einbezogen sind ebenso Wärmegutschriften für die Substitution fossiler Wärme und Güllegutschriften, die für die vermiedenen Methanemissionen im Vergleich zur konventionellen Güllelagerung angerechnet werden. Unter Einbeziehung dieser Gutschriften können die dargestellten klimarelevanten Anlagenemissionen zum Teil deutlich kompensiert werden. Die Aufwendungen und Gutschriften für die Bereitstellung von Strom aus Biogas werden saldiert (Summenbalken) und weisen mit -9 bis  $498 \text{ g CO}_2$ -Äq./ $\text{kWh}_{\text{el}}$  aufgrund der unterschiedlichen Konzepte und Emissionen eine große Bandbreite auf.

Die Ergebnisse zeigen, dass wesentliche klimarelevante Emissionen bei der Strombereitstellung der betrachteten Biogasanlagen aus der nicht gasdicht abgedeckten Gärrestlagerung und der Gasverwertung resultieren. Die Messergebnisse der Emissionen aus



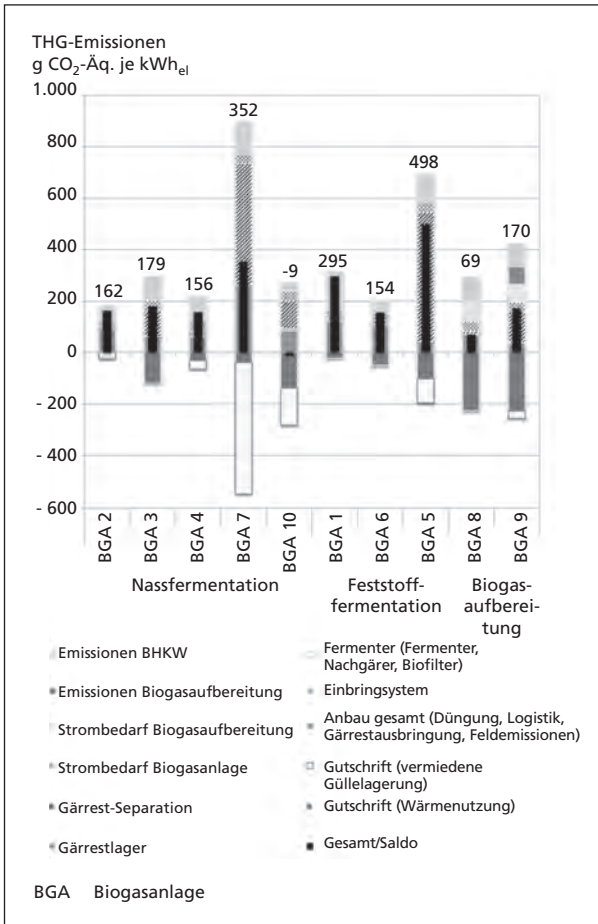


Bild 2:

THG-Emissionen der untersuchten landwirtschaftlichen Biogasanlagen zur Stromerzeugung aus Biogas in g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh<sub>el</sub> (Normalbetrieb); BGA 4 ohne Darstellung der Gärrestlageremissionen

Quelle: Liebetrau, J.; Daniel-Gromke, J.; Oehmichen, K.; Weiland, P.; Friehe, J.; Clemens, J.; Hafermann, C.: Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffströmen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der Deutschen Landwirtschaft. FNR e.V. (FKZ: 22023606), 2011, <http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22023606.pdf> (Zugriff am 01.08.2012)

den Gärrestlagern unterlagen großen Schwankungen und die Emissionen unterliegen einer Vielzahl von veränderlichen Einflussfaktoren und sind daher nicht auf das ganze Jahr übertragbar. Trotzdem wird deutlich, dass hier relevante Emissionen entstehen, die mit einer gasdicht abgedeckten Lagerung der Gärreste oder einer effizienteren Substratausnutzung reduziert werden können.

Anlage 7 weist vergleichsweise hohe Güllegutschriften für die *vermiedenen Emissionen* der Güllelagerung auf, da überwiegend Gülle und Festmist eingesetzt werden. Aufgrund der großen Gärrestmengen des Anlagenkonzeptes ergeben sich auch vergleichsweise hohe Emissionen, die bei der Ausbringung der Gärreste anfallen. Ebenso auffällig sind die hohen Emissionen, die auf die Gärrestlagerung (offene Lagunen) zurückzuführen sind.

Die Bilanz der Anlage 5 (Garagenverfahren) wird ebenfalls durch hohe Emissionswerte der Gärrestlagerung dominiert. Bei der BGA 5 beziehen sich die Emissionen auf das Austragsmaterial der Biogasanlage, welches vor der Anlage bis zur Ausbringung zwischengelagert wird.

### 3.2. Anlagen zur Vergärung von Bioabfällen

Die Ergebnisse der Emissionsmessungen an Bioabfallanlagen weisen mit einem Bereich von 40 bis 320 kgCO<sub>2</sub>Äq/t<sub>Bioabfall</sub> eine große Bandbreite auf (Bild 3). Die Methanemissionen bilden den größten Anteil der THG. Aus der Grafik ist aber auch bei einigen Anlagen erkennbar, dass eine zusätzliche Behandlung von Bioabfällen keine erhöhten Emissionen verursachen muss. Die festgestellten Gesamtemissionen der Anlagen A 3 bis A 7 und A 10 liegen wesentlich unter denen der restlichen Anlagen. Dabei sind in diesen Anlagen übliche Vergärungsverfahren wie Nass-, Trocken- und Feststoffvergärung (Garagenfermenter) integriert. Das bedeutet, dass nicht unbedingt die Art des Vergärungsverfahrens für erhöhte Emissionen verantwortlich ist, sondern vielmehr der Umgang mit den aktiven Materialien (Gärrückstände) eine wesentliche Rolle spielt.

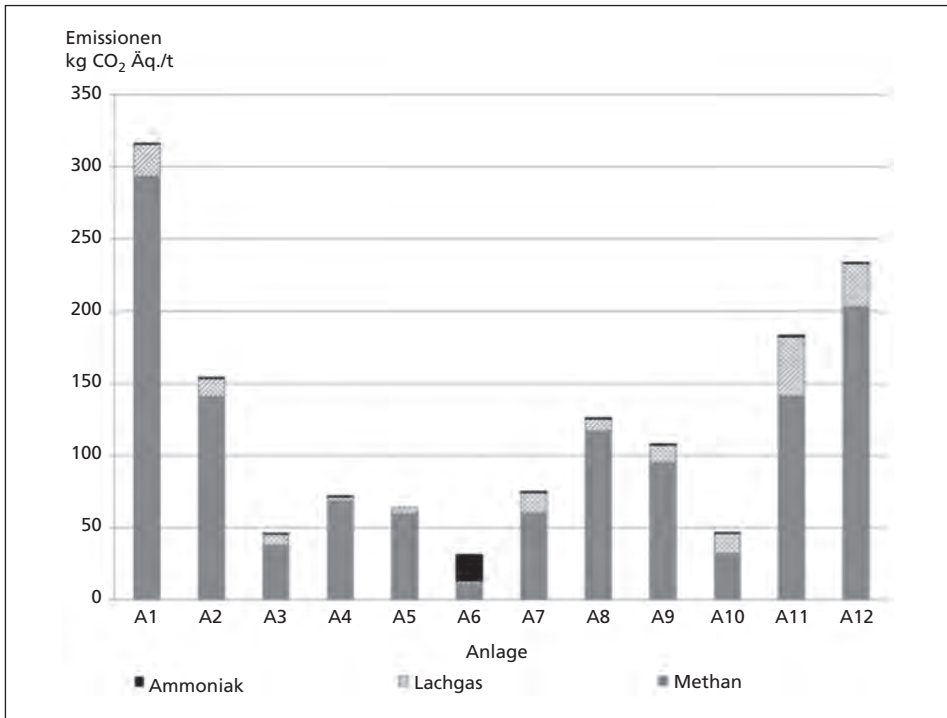


Bild 3: Messtechnisch erfasste Emissionen in Kohlendioxidäquivalenten in Bezug zu der auf der Anlage gesamt behandelten Bioabfallmenge

Eine Verlängerung der hydraulischen Verweilzeiten der Substrate im Fermenter, im Rahmen der verfahrenstechnischen und logistischen Möglichkeiten, ist eine Maßnahme, um das Restgaspotenzial der Gärreste und die Gefahr erhöhter Methanemissionen nach der anaeroben Behandlung zu minimieren. In Bild 4 sind einige Restgaspotenziale von mehreren Bioabfallvergärungsanlagen dargestellt. Die hydraulischen Verweilzeiten bewegen sich bei diesen Anlagen zwischen zwei und vier Wochen. Es ist erkennbar, dass bei einigen Anlagen das Biogasbildungspotenzial besser ausgenutzt werden kann und damit auch ein wirtschaftlicher Gewinn in Form von höheren Biogaserträgen entstehen würde.

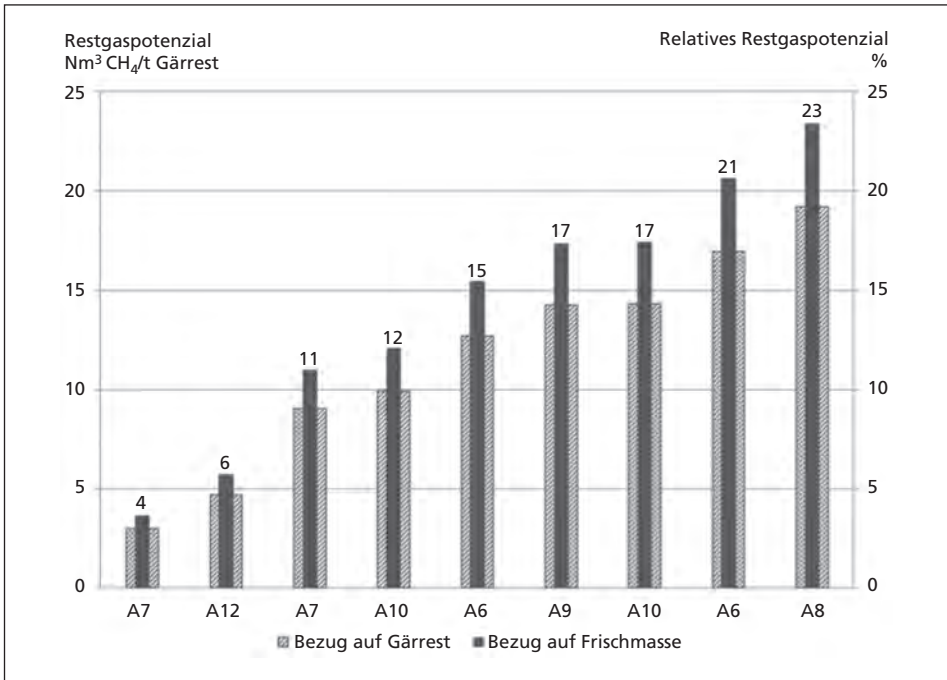


Bild 4: Restgaspotenziale von nicht separierten Gärresten aus Bioabfallvergärungsanlagen, Annahmen für Restgaspotenzial, Bezug Frischmasse (FM): Gasbildungspotenzial  $74 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$  Bioabfall; 10 % Frischmasseabbau durch Biogasbildung

Von den untersuchten Anlagen besitzt nur eine Anlage einen definierten Verfahrensschritt der Aerobisierung, bei dem die Abluft in die Abgasbehandlung (Biofilter) eingebunden ist. Dieser Punkt scheint noch ein großes Manko auf vielen Anlagen zu sein. Oft werden Gärrückstände – ob separiert oder nicht separiert – zeitweise oder für längere Zeiträume unbehandelt offen gelagert. Vier von sieben untersuchten Anlagen, welche flüssige Gärreste oder Prozesswässer lagern, haben diese Lagerbehälter gasdicht abgedeckt. Zwei Anlagen nutzen das dort entstehende Biogas, indem es in die Gasverwertung der BHKW eingebunden ist.

Weitestgehend konnten auf den Anlagen die Emissionen des nachgeschalteten Rotteprozesses messtechnisch erfasst werden. Deutlich wurde, dass auf den drei Anlagen A 1, A 2, A 12, welche zur Kompostierung der festen Gärrückstände mit Grünschnitt natürlich belüftete Rotteverfahren verwenden, die höchsten THG-Emissionen zu verzeichnen sind (Bild 3). Die unzulängliche Aerobisierung der Gärreste und die schlechte Sauerstoffversorgung verursachen diese hohen Emissionen. Die vergleichende Darstellung in Bild 5 zwischen zwei Anlagen mit natürlich belüfteter Kompostierung und zwei Rotteverfahren mit aktiver Belüftung verdeutlichen den Vorteil der emissionsreduzierten Behandlungsmethode durch zwangsbelüftete, gekapselte Kompostierungssysteme.

Auf allen untersuchten Anlagen sind Abluftsammlersysteme und Abluftbehandlungsanlagen in Form von Biofiltern installiert. Auf fünf Anlagen ist dem Biofilter ein Luftbefeuchter vorgeschaltet und lediglich auf den Anlagen A 5 und A 9 wird der gesamte

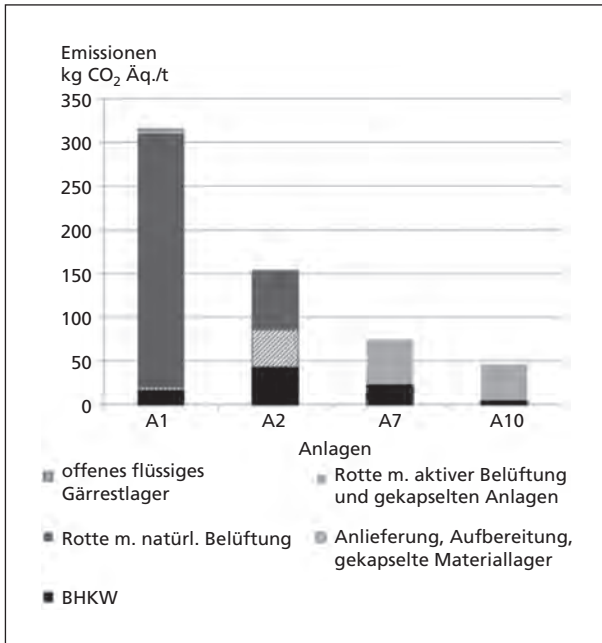


Bild 5:

Anlagenseitige Treibhausgas-Emissionen ausgewählter Anlagen zur Vergärung von Bioabfällen in Bezug auf den gesamten Anlagendurchsatz behandelter Bioabfälle

Abgasstrom mit sauren Wäschern, die dem Biofilter vorgeschaltet sind, behandelt. Durch diese Maßnahme wird Ammoniak vor dem Biofilter abgeschieden und damit Lachgasbildung im Biofilter minimiert. Im Biofilter werden die flüchtigen, organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC) sehr gut abgebaut. Methan hingegen wird nur in sehr geringem Maße reduziert.

#### 4. Minderungsmaßnahmen

Anhand der identifizierten Emissionsquellen können effektive Minderungsmaßnahmen abgeleitet werden.

Die Abdeckung von Gärrestlagern stellt im Fall der landwirtschaftlichen Biogasanlagen sowie der Bioabfallbehandlungsanlagen eine wesentliche Minderungsmaßnahme dar, sofern derartige Maßnahmen technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar sind. Zusätzlicher ökonomischer Nutzen kann durch die Einbindung in die Biogasverwertung erzielt werden. Weitere Emissionsminderungen können durch Optimierung des Substratabbaus realisiert werden. Durch Verlängerung der Verweilzeiten im gasdichten System, thermophiler Betriebsweise oder/und Einsatz von Substrat-Aufschlussverfahren kann infolge des gesteigerten Substratabbaus das Emissionspotenzial der Gärreste reduziert werden.

Bei der Vergärung von Bioabfällen ist im Falle einer Nachbehandlung der Gärreste durch den Rotteprozess sicher zu stellen, dass im Sinne der guten fachlichen Kompostierung u.a. eine ausreichende Sauerstoffversorgung der Mieten gewährleistet wird.

Eine in gekapselten Hallen, unmittelbar nach dem Vergärungsprozess, stattfindende gründliche Aerobisierung der festen Gärrückstände ist für eine emissionsreduzierte Weiterbehandlung unbedingt notwendig.

Bei der Konzeptionierung oder Nachrüstung einer Bioabfallbehandlungsanlage sollte angestrebt werden, dass alle Abluftströme gefasst und einer Abgasbehandlungsanlage (Biofilter) zugeführt werden. Stark mit Methan angereicherte Abluftströme können gleich in die Biogasverwertung eingebunden werden. Einem Biofilter sollte generell ein saurer Wäscher vorgeschaltet werden, um Ammoniak abzuscheiden und damit die Lachgasbildung in dem Biofilter weitestgehend zu unterbinden. Mit dem Einsatz eines Biofilters werden die flüchtigen, organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC) sehr gut abgebaut. Methan hingegen wird nur in sehr geringem Maße reduziert. Das sinnvollste ist es, den Betrieb des Gesamtsystems dahingehend auszurichten, dass Methanemissionen reduziert werden.

Die Emissionen der BHKW lassen sich, wenn alle Möglichkeiten der motorischen Einstellungen ausgeschöpft sind, nur noch mit einer Nachbehandlung des Abgases senken. Hier ist derzeit die Nachverbrennung die einzig verfügbare Technologie.

In der Beschickung sollte die offene Lagerung und Verarbeitung von Gülle, Gärresten und Mischungen dieser mit anderen Substraten auf das mindest mögliche Maß reduziert werden.

Da klimaschädliche Emissionen bereits durch eine Optimierung der Betriebsweisen reduziert werden können, sollten Kontrollen in Form von regelmäßigen Begehungen der Anlage durchgeführt werden, um bei auftretenden Verlusten zeitnah handeln zu können. Hilfestellung bieten der Einsatz von mobilen Gasmessgeräten bzw. Methan-detektionsgeräten sowie der Einsatz verschiedener Gaskameras, die die auftretenden Emissionen im Bild darstellen können.

Tabelle 4 stellt die wesentlichen Maßnahmen zur Minderung klimarelevanter Emissionen an Biogasanlagen im Überblick dar, wobei nach landwirtschaftlichen Anlagen und Bioabfallvergärungsanlagen unterschieden wird.

Tabelle 4: Maßnahmen zur Emissionsminderung von Biogasanlagen

Landwirtschaftliche Biogasanlagen	Bioabfallvergärungsanlagen
Vollständige Ausfaltung (u.a. mehrstufige Anlagenkonzepte, thermophiler Betrieb)	Verlängerung der Verweilzeit unter Beachtung der verfahrenstechnischen Grenzen
Verlängerung der Verweilzeit im gasdichten System	Intensive Aerobisierung der Gärreste
Gasdichte Abdeckung von Gärrestlagern und Einbindung in die Biogasverwertung	
Generell offene Lagerung von Gärrückständen und Gärprodukten vermeiden	
Einsatz von Verfahren zur Erhöhung der Ausbeute im Fermenter (z.B. Aufschlussverfahren)	Kleine Mieten, häufiges Umsetzen, intensives Belüften, ausreichend Strukturmaterial verwenden
Abtrennung von Feststoffen durch Separation vor der Lagerung	Einsatz von sauren Wäschern vor dem Biofilter

## 5. Fazit

Anhand der Emissionsmessungen ausgewählter Biogasanlagen konnten wesentliche Quellen für Emissionen identifiziert werden. Die Auswertung der Treibhausgasbilanz zeigt, dass die wesentlichen Emissionsquellen bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen die nicht gasdichte Gärrestlagerung und die Gasverwertung (BHKW, Aufbereitung) darstellen. Neben diesen beiden wesentlichen Quellen spielen die gefundenen Emissionen an Beschickungssystemen und kleineren Leckagen an den Fermentern eine untergeordnete Bedeutung. Bei der Garagenfermenteranlage war das gelagerte, ausgetragene Material die größte Emissionsquelle. Ferner sind wesentliche Treibhausgasemissionen auch auf den Strombedarf der Biogasanlage bzw. der Aufbereitungsanlage zurückzuführen.

Bei den Anlagen zur Bioabfallvergärung fallen als wesentliche Emissionsquellen die unzulängliche Aerobisierung, schlecht durchlüftete nachgeschaltete Kompostierungsverfahren, offene Gärrestlager und fehlende saure Wäscher vor Biofiltern ins Gewicht. Werden einige der aufgezählten Optimierungsmaßnahmen umgesetzt, so ist diese emissionsreduzierte ausgerichtete Betriebsführung eine ökonomisch günstige Alternative im Vergleich zu thermischen Nachbehandlungsverfahren (RTO) der Abgase.

In diesen Vorhaben konnte eine Bewertung von Emissionen aus Überdrucksicherung nicht durchgeführt werden. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig. Ferner muss die exakte Bestimmung von Emissionen aus der Gärrestlagerung weiterhin untersucht werden, um eine eindeutige und differenzierte Bewertung zu ermöglichen. Hinsichtlich der Übertragung der Messergebnisse der Emissionen aus Gärrestlagern auf längere Zeiträume bestehen noch Unsicherheiten. Hinsichtlich der Verwertung der Emissionswerte der untersuchten Biogasanlagen in Treibhausgas-Bilanzen spielt zudem die Übertragbarkeit der Ergebnisse eine wichtige Rolle. Dabei ist zum einen die zeitliche Übertragbarkeit – von der Einzelmessung auf einen längeren, für den Betrieb repräsentativen Zeitraum – und zum anderen die Übertragbarkeit auf andere Anlagen Voraussetzung. Darüber hinaus besteht Forschungsbedarf in der Weiterentwicklung und Validierung bestehender Messmethoden zur Quantifizierung diffuser Flächenquellen und diffuser Leckagen an Biogasanlagen.

## 6. Literatur

- [1] Witt et al.: Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Leipzig, März 2012, [http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user\\_upload/Berichte\\_Projektdatenbank/3330002\\_Stromerzeugung\\_aus\\_Biomasse\\_Endbericht\\_Ver%C3%B6ffentlichung\\_FINAL\\_FASSUNG.pdf](http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/Berichte_Projektdatenbank/3330002_Stromerzeugung_aus_Biomasse_Endbericht_Ver%C3%B6ffentlichung_FINAL_FASSUNG.pdf) (Zugriff am 01.08.2012)
- [2] Liebetrau, J.; Daniel-Gromke, J.; Oehmichen, K.; Weiland, P.; Friehe, J.; Clemens, J.; Hafermann, C.: Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffströmen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der Deutschen Landwirtschaft. FNR e.V. (FKZ: 22023606), 2011, <http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22023606.pdf> (Zugriff am 01.08.2012)
- [3] ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen, Deutsche und Englische Fassung, DIN EN ISO 140 40: 2006, 10/2006

- [4] ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen, Deutsche und Englische Fassung, DIN EN ISO 140 44: 2006, 10/2006
- [5] IPCC: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2007
- [6] BMWi: Energiekonzept-für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Berlin 2010, [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept\\_bundesregierung.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf)
- [7] Statistisches Bundesamt: Fachserie 19/ Reihe 1, Umwelt/Abfallentsorgung, Berichtsjahr 2010 Wiesbaden, 2012, <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Umweltstatistische-Erhebungen/Abfallwirtschaft/Abfallentsorgung2190100107004.html>
- [8] Ewens, P.: Umweltverträglichkeit von Biogasanlagen. In: Thome-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 291-300
- [9] Lahl, U.; Zeschmar-Lahl, B.: Stand der Technik der Emissionsminderung bei Biogasanlagen, Müllhandbuch Artikel 5432–Lfg.2/11, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2011
- [10] Liebetrau et al.: Emissionen von Biogasanlagen – Untersuchungen an Praxisanlagen und Minderungsmaßnahmen, TU Dresden, Dresden 2011
- [11] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz KrWG), Herausgeber: Bundesministerium der Justiz. Berlin: Juris GmbH, 24. Februar 2012.
- [12] Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (BioAbfVO), Berlin: juris GmbH, 23. April 2012.
- [13] Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG), Herausgeber: Bundesministerium der Justiz. Berlin: juris GmbH, 17. August 2012.

