

Potentieller Beitrag der Landwirtschaft zur Verminderung der Treibhausgasemissionen in Deutschland

Potential contribution of German agriculture to the reduction of green house gases by biogas technology

Jens Wegener, Wolfgang Lücke und Jörg Heinzemann
Georg-August-Universität Göttingen

Zusammenfassung

Die deutsche Landwirtschaft war im Jahr 2002 mit einem Anteil von 8,7% an den nationalen THG-Emissionen beteiligt. Diese entstammen hauptsächlich aus der tierischen Verdauung, dem Wirtschaftsdünger-Management und den landwirtschaftlich genutzten Böden. Zur Erzielung von Emissionsreduktionen hat das Wirtschaftsdünger-Management beträchtliches Potential durch technische Strategien größere Mengen an THG zu vermeiden. Dies wird durch die Nutzung des Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen ermöglicht. Bei diesem Verfahren werden Methanemissionen aufgefangen und energetisch verwertet, die sonst in die Atmosphäre gelangen. Zieht man alle anfallenden Wirtschaftsdüngermengen für die Hauptemittenten Rind und Schwein in Betracht, könnten so etwa 56 Mio. t CO₂-Äquivalent an THG-Emissionen eingespart werden. Dies entspricht einer Reduzierung der deutschen THG-Emissionen in Bezug auf das gemischte Basisjahr 1990/95 von 4,5%. Unterstellt man dagegen die Nutzung des gesamten in der Landwirtschaft technisch verfügbaren Biomassepotentials nach einer Publikation der FNR, könnten insgesamt sogar etwa 276 Mio. t CO₂-Äquivalent und somit 22% des Gesamtausstoßes eingespart werden. Dies entspricht dem 27,5-fachen dessen, was die emissionshandelspflichtigen Unternehmen in Deutschland während der ersten beiden Verpflichtungsperioden der EU-Emissionshandels von 2005 bis 2012 einsparen müssen.

Schlüsselwörter

Biogas; EU-Emissionshandel; Kioto-Protokoll; Landwirtschaft; Deutschland

Abstract

In 2002, the German agricultural sector contributed 8.7 % of the total national green house gas emissions. The main sources were animal digestion, manure management and agricultural soils. From the technical point of view, the manure management has the biggest potential of green house gas reduction by using biogas technology. Thereby methane emission from manure, which otherwise had been emitted into the atmosphere, can be recaptured and used to substitute fossil fuels. Regarding the whole output of manure from cattle and swine in Germany, the emission reduction is 56 Mio. t CO₂-equivalent. This amount is equivalent to 4.5% of the emissions in 1990/95 for the Kyoto protocol. Regarding the biomass potential which is technically feasible at the moment, the reduction potential growth to 276 Mio. t CO₂-equivalent or 22% of emissions. This is 27.5 times more than the reduction commitment of the German industry for EU-emissions trading in the period from 2005-2012.

Key words

biogas; EU-emission trading; Kyoto protocol; agriculture; Germany

1. Einleitung

Mit der Ratifizierung des Kioto-Protokolls hat sich die EU zu einer Reduzierung ihres Ausstoßes an Treibhausgasen (THG) verpflichtet. Ziel ist es, die EU-weiten Emissionen basierend auf der Emissionsmenge von 1990 im Zeitraum von 2008 bis 2012 um 8 % zu reduzieren. Als ein Instrument zur Zielerreichung wurde 2005 ein EU-weites System zum Handel von Emissionsrechten eingeführt, welches in der ersten Verpflichtungsperiode von 2005 bis 2007 zunächst die Energiewirtschaft sowie energieintensive Teile der Industrie zur Teilnahme verpflichtet und sich auf das THG-Kohlendioxid (CO₂) beschränkt. Mit dem Start der zweiten Verpflichtungsperiode ab 2008 kann der Teilnehmerkreis sowie die Anzahl der berücksichtigten THG erweitert werden. Im Folgenden soll untersucht werden, welche THG in welcher Höhe in der Landwirtschaft in Deutschland emittiert werden und welches Vermeidungspotential insbesondere durch den Einsatz von Biogasanlagen vorhanden ist.

1.1 Treibhausgasemissionen in Deutschland

Die THG-Emissionen Deutschlands für das gemischte Kioto-Basisjahr 1990/95¹, auf die sich alle erzielten Reduktionsleistungen beziehen, betragen zusammen 1 251,7 Mio. t CO₂-Äquivalent² (UMWELTBUNDESAMT, 2004a: 3). Bis zum Jahr 2002 wurden diese Treibhausgasemissionen um 18,9 % auf 1 014,6 Mio. t CO₂-Äquivalent verringert (vgl. Tabelle 1). Die weitaus größten Emissionsmengen entfallen mit 864 Mio. t CO₂-Äquivalent auf Kohlendioxid-Emissio-

¹ Für die Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O gilt das Jahr 1990 als Basisjahr, für die restlichen Treibhausgase HCF, PCF und SF₆ das Jahr 1995.

² Mit dem Global Warming Potential (GWP) lassen sich die Emissionsmengen eines THG in CO₂-Äquivalente umrechnen.

nen (CO₂), gefolgt von 81 Mio. t CO₂-Äquivalent Methan- (CH₄) sowie weitere 56 Mio. t CO₂-Äquivalent Distickstoffoxid-Emissionen (N₂O). Alle weiteren für den Treibhauseffekt relevanten Gase, wie teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆) spielen mit einem prozentualen Anteil von zusammen 1,3% eine untergeordnete Rolle (vgl. UMWELTBUNDESAMT, 2004a: 3).

1.2 Emissionen in der Landwirtschaft

Die Landwirtschaft stellt in Deutschland nach Abbildung 1 mit 8,7 % den zweitgrößten Verursacher anthropogener Treibhausgasemissionen dar. Im Vergleich zu den energiebedingten Emissionen, die einen Anteil von 85,5 % ausmachen, erscheint das relativ wenig zu sein. Europaweit gesehen ist die Landwirtschaft allerdings Hauptverursacher der Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen (SENSI, 2005). Inwiefern dies für Deutschland gilt, lässt sich aus dem Nationalen Inventarbericht 2004 der Quellgruppe Landwirtschaft berechnen (DÄMMGEN, 2004: 9-31).

Die THG-Emissionen der deutschen Landwirtschaft für das Jahr 2002 sind in der Tabelle 2 aufgeführt. Methan fällt in den größten Mengen an, gefolgt von Kohlendioxid und vergleichsweise geringen Mengen Distickstoffoxid. Wandelt man diese Emissionen jedoch wie in Tabelle 2 dargestellt mit Hilfe des Global Warming Potential (GWP)³ in t CO₂-Äquivalent um, ergibt sich eine andere Gewichtung. Methan liegt mit seinem Treibhauspotential immer noch an erster Stelle, wird nun aber gefolgt vom Distickstoffoxid, während Kohlendioxid nur noch einen untergeordneten Rang einnimmt.

Vergleicht man die Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen mit dem Gesamtausstoß der jeweiligen Gase in Deutschland nach Tabelle 1 so wird deutlich, dass die Landwirtschaft auch in Deutschland Hauptverursacher dieser Emissionen ist. So entfallen im Jahr 2002 65,7% der gesamten Methanemissionen und 66,6% der gesamten Distickstoffoxid-Emissionen auf landwirtschaftliche Quellen. Beim Kohlendioxid beträgt der Anteil dagegen nur 0,21%.

Tabelle 2 zeigt zusätzlich auch noch die Ammoniak-Emissionen (NH₃) der Landwirtschaft mit auf. NH₃ zählt nach dem Kioto-Protokoll zwar nicht zu den im Anhang aufgeführten THG, ist aber, da es im Boden teilweise zu N₂O umgewandelt wird, indirekt klimawirksam (WULF, 2003: 6-7; LFL, 2004). Da die indirekt verursachten THG-Emissionen durch NH₃ vom Treibhausgaspotential etwa in der selben Größenordnung wie die CO₂-Emissionen liegen, wird es mit berücksichtigt. Zur Umrechnung des Treibhausgaspotentials in CO₂-Äquivalente werden 1% der NH₃-Verluste als N₂O-Emissionen angenommen (MOSIER et al., 1998). Daraus ergibt sich ein GWP von 3,1 bezogen auf die originären NH₃-Emissionen.

³ Das Global Warming Potential ist ein Maß für die Klimawirksamkeit eines Treibhausgases. Es bezieht die Klimawirksamkeit von Treibhausgasen auf die von Kohlendioxid, welches per Definition einen GWP von 1 hat. Methan hat einen GWP von 21, Distickstoffoxid von 310.

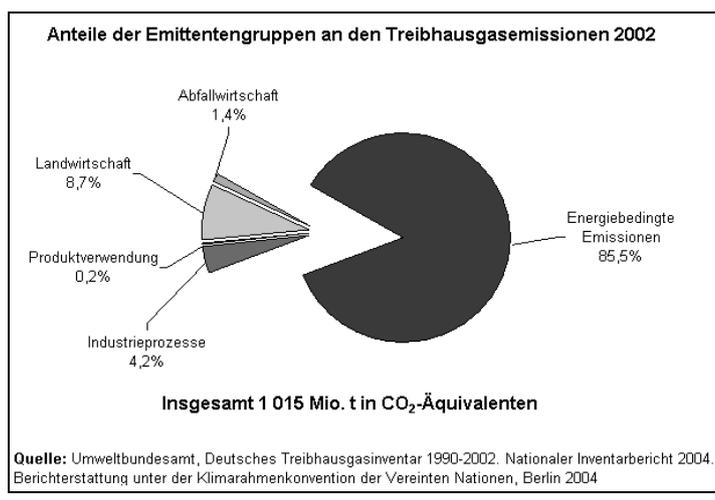
Tabelle 1. Gesamtemissionen an Treibhausgasen in Deutschland im Jahr 2002, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Treibhausgasen Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆)

Treibhausgas	Anteil [%]	Emissionsmenge 2002 [t]	Emissionen 2002 [t CO ₂ -Äquivalent]
CO ₂	85,2	864 117 000	864 117 000
CH ₄	8,0	3 878 429	81 447 000
N ₂ O	5,5	180 106	55 833 000
HFCs	0,8	-*	8 247 000
PFCs	0,1	-	786 000
SF ₆	0,4	176	4 197 000
Summe			1 014 627 000

* Eine Berechnung der tatsächlichen Emissionen von HFCs sowie PFCs ist nicht möglich, da es sich um Stoffgruppen mit einer Vielzahl von einzelnen Verbindungen handelt.

Quelle: eigene Darstellung nach UMWELTBUNDESAMT, 2004a: 3

Abbildung 1. Anteile der Emittentengruppen an den Treibhausgasemissionen in Deutschland im Jahr 2002



1.3 Relevante Quellen und Senken landwirtschaftlicher Emissionen in Deutschland

Um das Minderungspotential in der Landwirtschaft zu untersuchen, ist es zunächst erforderlich ein differenzierteres Bild über die Quellen und Senken zu bekommen (vgl. Tabelle 3). Nach (UMWELTBUNDESAMT, 2004a; PÖLLINGER, 2004; DÄMMGEN, 2004) werden Emissionen in der Landwirtschaft hauptsächlich durch Fermentationsprozesse im Magen und Darm von Nutztieren, im Wirtschaftsdünger-Management⁴ sowie durch landwirtschaftlich genutzte Böden freigesetzt. Weitere Quellen wie Brandrodung, Verbrennung von Ernterückständen auf der Fläche und THG-Emissionen durch den Einsatz von Pestiziden werden in Deutschland nicht praktiziert bzw. werden als irrelevant angesehen (UMWELTBUNDESAMT, 2004a: 6-24; SENSI, 2005; DÄMMGEN, 2004: 29).

⁴ Zum Wirtschaftsdünger-Management gehört die Lagerung, Ausbringung und Einarbeitung von Wirtschaftsdüngern.

Tabelle 2. Emissionen in der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2002, aufgeschlüsselt nach den Treibhausgasen Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O), ihrem Anteil an den gesamten deutschen Treibhausgasemissionen und ihrem Treibhausgaspotential

Gas	Emissionsmenge 2002 [t]	Anteil an Gesamtemissionen nach Stoffgruppe [%]	Emissionsmenge 2002 [t CO ₂ -Äquivalent]
CO ₂	1 810 000	0,21	1 810 000
CH ₄	2 550 000	65,7	53 550 000
N ₂ O direkt	120 000	66,6	37 200 000
N ₂ O indirekt (aus NH ₃)	5 900	3,3	1 829 000

Quelle: eigene Darstellung nach DÄMMGEN, 2004: 31

Im Jahr 2002 entstanden durch tierische Verdauungsprozesse 1,28 Mio. t CH₄. Hauptverursacher waren Rinder mit einem Anteil von 95 %, der restliche Teil entfiel auf Schweine mit 3 % und Pferde/Schafe mit 2 %. Emissionen von Geflügel konnten methodisch nicht erfasst werden und wurden als vernachlässigbar eingestuft. Weitere 1,31 Mio. t CH₄ entstanden im Wirtschaftsdünger-Management. Auch hier war die Rinderhaltung mit 60 % der Hauptverursacher, gefolgt von Schweinehaltung mit 39 % und Geflügelhaltung mit 1 %. Landwirtschaftlich genutzte Böden fungierten dagegen als CH₄-Senke und fixierten durch Deposition etwa 30 000 t CH₄ pro Jahr.

Im Bereich der N₂O-Emissionen traten die Böden durch natürliche Denitrifikations- und Nitrifikationsprozesse mit einer Menge von 120 000 t N₂O als Hauptverursacher auf. Das Wirtschaftsdünger-Management dagegen emittierte mit 9 800 t vergleichsweise wenig N₂O, wobei sich die Mengen auf die einzelnen Tiergruppen wie folgt verteilten: Rinder 62%, Schweine 14 %, Geflügel 16 % und Pferde/Schafe 8 %.

Bei den Emissionen des indirekten Treibhausgases NH₃ verhält es sich genau umgekehrt. Die Emissionen aus den Böden belaufen sich auf 129 000 t, während das Wirtschaftsdünger-Management mit 460 000 t den größten Teil beisteuert. Auch hier verteilten sich die Mengen unterschiedlich auf die Tiergruppen: Rinder 64 %, Schweine 27 %, Geflügel 7 % und Pferde/Schafe 2 % (DÄMMGEN, 2004: 9-20).

2. Reduktionspotentiale in der Landwirtschaft

Ausgehend von den genannten Quellen landwirtschaftlicher Emissionen können strukturelle, organisatorische oder technische Strategien zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen verfolgt werden. PÖLLINGER nennt in seinen Ausführungen über klimarelevante Emissionen aus der Landwirtschaft in Österreich den Rückgang an Wiederkäuern in den kommenden 10 Jahren als einen strukturellen Reduktionsfaktor für CH₄-Emissionen (PÖLLINGER, 2004). Des Weiteren zeigt er die organisatorische Möglichkeit auf, durch bedarfsgerechtere Stickstoffdüngung die N₂O-Emissionen aus den landwirtschaftlich genutzten Böden zu verringern. Echte Minderungsoptionen sieht er aber vor

Tabelle 3. Methan- (CH₄), Distickstoffoxid- (N₂O) und Ammoniakemissionen (NH₃) der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2002, aufgeschlüsselt nach Quellen/Senken und Mengen

Quelle/Senke	Gas	Emittierte Menge [t/a]
Tierische Verdauung	CH ₄	1 280 000
Wirtschaftsdünger-Management	CH ₄	1 310 000
	N ₂ O	9 800
	NH ₃	460 000
Landwirtschaftliche Böden	CH ₄	-30 000
	N ₂ O	120 000
	NH ₃	129 000
Brandrodung	-	Wird nicht praktiziert
Verbrennung von Ernterückständen auf der Fläche	-	In Deutschland untersagt, genehmigte Ausnahmen sind mengenmäßig irrelevant

Quelle: eigene Darstellung nach UMWELTBUNDESAMT, 2004a

allein im technischen Bereich durch den Bau von Biogasanlagen und der damit möglichen Fermentation von Wirtschaftsdüngern, die unter anderem in dieser Arbeit näher beleuchtet werden.

Auf Grundlage von Arbeiten durch WULF und AMON und DÖHLER zum Emissionsverhalten von Rohgülle und vergorener Gülle, deren Ergebnisse hier zusammenfassend dargestellt werden, wird anschließend das Emissionsminderungspotential im Wirtschaftsdünger-Management abgeschätzt.

WULF kommt in seiner Arbeit, die unter anderem ein Vergleich der THG-Emissionen von vergorener Gülle und Rohgülle während der Lagerung und nach der Ausbringung vollzieht, zu folgenden Aussagen (WULF, 2003):

- Die N₂O-Emissionen aus der Lagerung vergorener Gülle sind quantitativ unbedeutend.
- Die CH₄-Emissionen vergorener Gülle während der Lagerung sind niedriger als die der Rohgülle.
- Dafür gibt es potentiell höhere NH₃-Verluste während der Lagerung vergorener Gülle, die zu indirekten THG-Emissionen führen können.
- Die treibhausrelevante Gesamtemissionen (Summe CH₄ + indirekte N₂O aus NH₃) der vergorenen Gülle während der Lagerung sind geringer als bei Rohgülle.
- Die Höhe und die Zusammensetzung von THG-Emissionen bei der Ausbringung (düngerinduzierte Emissionen) von Gülle sind abhängig von der Applikationstechnik.
 - Auf Ackerland erzeugt eine flache Einarbeitung unmittelbar nach der Ausbringung die geringsten THG-Emissionen.
 - Auf Grünland führt die Ausbringung mit dem Schleppschuh zu den geringsten THG-Emissionen.
 - Die Düngung mit vergorener Gülle im Vergleich zur Rohgülle führt tendenziell in der Gesamtbilanz zu geringeren Treibhausgasemissionen.

Gestützt werden diese Aussagen durch eine Untersuchung von AMON und DÖHLER zu den Gesamtemissionen verschiedener Verfahrensketten der Lagerung und Ausbringung von Gülle (AMON und DÖHLER, 2004: 157). In deren Ergebnissen zeigte die vergorene Gülle aus der Biogasanlage die besten Resultate. Im Vergleich zur Rohgülle konnten die klimaschädlichen Freisetzung bei Schweinegülle um

20 % und bei Rindergülle um 59 % gesenkt werden, wobei das Emissionsreduktionspotential jedoch nur auf die Verminderung der Methanreduktionen zurückzuführen war (vgl. Tabelle 4). Die Emission von N₂O und NH₃ in der vergorenen Gülle stiegen dagegen in beiden Fällen im Vergleich zur Rohgülle an. Tabelle 5 zeigt die Veränderungen der Emissionen im Einzelnen auf.

Tabelle 4. Spezifische Veränderungen fermentierter Milchvieh- und Schweinegülle in Bezug auf Emissionen von Ammoniak (NH₃), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O)

Substrat	Emissionsveränderungen		
	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
Milchviehgülle vergoren	+1%	-59%	+30%
Schweinegülle vergoren	+25%	-20%	+38%

Quelle: eigene Darstellung nach AMON und DÖHLER, 2004: 157

3. Material und Methoden

Um das Emissionsreduktionspotential im Wirtschaftsdünger-Management zu berechnen, sind zunächst folgende Überlegungen zu beachten. Grundsätzlich setzen sich die Emissionsminderungen durch den Einsatz von Biogasanlagen aus drei Beiträgen zusammen. Erstens durch die Minderung von Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung vergorenen Wirtschaftsdüngers im Gegensatz zur unbehandelten Rohgülle. Zweitens durch die Reduktionsleistung beim Auffangen von CH₄ aus dem Fermentationsprozess sowie der Oxidation desselbigen durch Verbrennung zu CO₂. Drittens durch die regenerative und damit weitgehend THG-neutrale Erzeugung von Strom und Wärme durch dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung.

Zur Berechnung der Minderungsleistungen im Bereich der Lagerung und Ausbringung des anfallenden Wirtschaftsdüngers wird wie folgt vorgegangen. Die Gesamtemissionen des Wirtschaftsdünger-Management werden zunächst auf die einzelnen Tiergruppen Rinder, Schweine, Pferde/Schafe und Geflügel verteilt (vgl. Tabelle 6). Zur weiteren Berechnung werden nur die Tiergruppen Rinder und Schweine berücksichtigt, da diese mit Abstand die Hauptverursacher der Emissionen im Wirtschaftsdünger-Management darstellen. Anschließend werden für diese Tiergruppen die Emissionsänderungen für jedes der drei Gase N₂O, CH₄ und NH₃ berechnet, die sich aus der Verwendung vergorenen Wirtschaftsdüngers bei Lagerung und Ausbringung ergeben würden.

Die Bestimmung der Emissionseinsparungen durch den Fermentationsprozess erfolgt anhand von Daten der KTBL zum Wirtschaftsdünger aufkommen 2002 (vgl. Tabelle 7)

sowie durch Zahlen der FNR zum Biogasertrag. Dabei werden folgende Werte verwandt:

20 m³ Biogas/t Rindergülle bei 55% Methangehalt,
 20 m³ Biogas/t Schweinegülle bei 60% Methanertrag,
 40 m³ Biogas/t Rinderfestmist bei 60% Methangehalt,
 55 m³ Biogas/t Schweinefestmist bei 60% Methangehalt
 (FNR, 2005b: 87). Die Berechnung der Methanerträge durch die Fermentation der in Tabelle 7 aufgeführten Wirtschaftsdüngermengen erfolgt nach folgender Formel:

$$(1) \quad WD[t] \cdot G[m^3/t] \cdot M[\%] \cdot \varphi[t/m^3]$$

mit
 WD Wirtschaftsdüngereinsatz
 G Biogasertrag
 M Methangehalt
 φ Dichte von Methan

Für die nach der Fermentation erfolgende Verbrennung von CH₄ zu CO₂ und H₂O wird eine vollständige stöchiometrische Umsetzung unterstellt, bei der für 1 t CH₄ treibhausrelevante Emissionen in Höhe von 2,2 t CO₂ entstehen. Anschließend werden die spezifischen Emissionen mit Hilfe des jeweiligen GWP in t CO₂-Äquivalent umgerechnet und aufsummiert.

Tabelle 5. Spezifische Ammoniak- (NH₃), Methan- (CH₄) und Distickstoffoxidemissionen (N₂O) pro m³ Gülle während der Lagerung und nach der Ausbringung von unbehandelter bzw. fermentierter Milchvieh- und Schweinegülle und deren Treibhausgaspotential

	Behandlung	NH ₃		CH ₄		N ₂ O		THG-Potential [% CO ₂ -Äquivalent]
		[g/m ³]	%	[g/m ³]	%	[g/m ³]	%	
Milchviehgülle	unbehandelt	227	100	4 047	100	24	100	100
	Vergärung	230	101	1 345	33	31	130	41
Schweinegülle	unbehandelt	211	100	866	100	56	100	100
	Vergärung	263	125	217	25	77	138	80

Quelle: verändert nach AMON und DÖHLER, 2004: 157

Tabelle 6. Relative und absolute Verteilung der Ammoniak- (NH₃), Methan- (CH₄) und Distickstoffoxid- (N₂O)-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management in Deutschland im Jahr 2000 nach Gesamtmenge und Tiergruppen

	NH ₃		CH ₄		N ₂ O	
	[%]	[1 000 t]	[%]	[1 000 t]	[%]	[1 000 t]
Gesamt		460		1 310		9,8
Rinder	64%	294,4	60%	786	62%	6,1
Schweine	27%	124,2	39%	510,9	14%	1,4
Pferde/Schafe	2%	9,2	-	0	8%	0,8
Geflügel	7%	32,2	1%	13,1	16%	1,5

Quelle: eigene Darstellung nach DÄMMGEN, 2004: 13-23 und AMON und DÖHLER, 2004: 157

Tabelle 7. Gülle- und Festmistanfall für die Tiergruppen Rind und Schwein im Jahr 2002

	Rind [1 000 t/a]	Schwein [1 000 t/a]
Gülle	83 200	65 000
Festmist	29 200	11 300

Quelle: KTBL, 2004: 2

Die Bestimmung der Emissionsminderungen, die sich aus der energetischen Verwertung ergeben, erfolgt anhand spezifischer Emissionen von Referenzsystemen. Für die Verstromung wird der Emissionsfaktor von 653 g_{CO₂}/kWh_{el} des deutschen Kraftwerksmix als Referenz herangezogen (FRITSCHKE, 2003: 6). Für die Wärmenutzung werden die Emissionen einer Erdgas-Brennwerttherme als Vergleichsbasis herangezogen. Bei einem thermischen Wirkungsgrad von 98% (vgl. ASUE, 2005: 8) und einem gemittelte Emissionsfaktor für Erdgas von 0,0555 t_{CO₂}/GJ (UMWELTBUNDESAMT, 2004b: 1) entstehen ca. 204 g_{CO₂}/kWh_{th}. Die Emissionseinsparungen werden nach folgender Formel berechnet:

$$(2) \frac{B[t] \cdot E[\text{kWh}/\text{m}^3]}{\varphi[\text{t}/\text{m}^3]} \cdot \eta \cdot \text{EF}[\text{t}/\text{kWh}]$$

mit

- B Brennstoffeinsatz (Methan)
 E Energiegehalt von Methan
 φ Dichte von Methan
 η elektrischer bzw. thermischer Wirkungsgrad des BHKW in der Biogasanlage
 EF Emissionsfaktor des Referenzsystems (Kraftwerksmix bzw. Erdgas-Brennwerttherme)

Bei den so errechneten Emissionseinsparungen auf Grundlage vorhandener Biomasse wird zwischen dem theoretischen und technischen Emissionsminderungspotential unterschieden. Das theoretische Emissionsminderungspotential bezieht die Emissionseinsparungen auf die Gesamtemissionen im Wirtschaftsdünger-Managements in Deutschland nach (DÄMMGEN, 2004: 31), wobei keinerlei Rücksicht auf die Verfügbarkeit des Wirtschaftsdüngers zur Vergärung in Biogasanlagen genommen wird. Das technische Emissionsminderungspotential basiert dagegen auf einer Einschätzung der FNR über verfügbare Biomasse in Deutschland (FNR, 2005a: 5), die auch andere Einsatzstoffe als Wirtschaftsdünger mit einbezieht.

Zur Herleitung des Methanpotentials, das sich aus vorhandener Biomasse ergibt, wird folgende Formel verwendet:

$$(3) \frac{nE[\text{kWh}] \cdot \varphi[\text{t}/\text{m}^3]}{E[\text{kWh}/\text{m}^3]}$$

mit

- nE nutzbares Energiepotential in der Biomasse
 φ Dichte von Methan
 E Energiegehalt von Methan

Die so gewonnenen Größen werden anschließend ins Verhältnis zu den eingegangenen Verpflichtungen Deutschlands im Kioto-Protokoll und im europäischen Emissionshandel gesetzt.

4. Ergebnisse

4.1 Theoretisches Reduktionspotential aus der Verwendung vergorenen Wirtschaftsdüngers während Lagerung und Ausbringung

Im Folgenden wird das „theoretisch“ mögliche Emissionsminderungspotential durch den ausschließlichen Einsatz vergorenen Wirtschaftsdüngers während der Lagerung und Ausbringung auf Grundlage der von DÄMMGEN ermittelten Emissionen im Wirtschaftsdünger-Management in Deutschland errechnet (DÄMMGEN, 2004: 31)

Tabelle 8 zeigt die Emissionsänderungspotentiale von CH₄, NH₃ und N₂O für die gesamte anfallende Menge an Rinder- und Schweinegülle in Deutschland auf, wenn diese in Biogasanlagen fermentiert wird. Vom THG Methan können dadurch pro Jahr 565 900 t vermieden werden. Bei einem GWP von 21 kommt dies einem Reduktionspotential von 11 884 300 t CO₂-Äquivalent gleich. Vom indirekten THG-Ammoniak fällt durch die Fermentation dagegen jährlich eine Menge von 34 000 t zusätzlich an, was einem CO₂-Äquivalent von 105 400 t bei einem GWP von 3,1 entspricht. Auch bei den Distickstoffoxid-Emissionen ist ein Wachstum von 2 300 t festzustellen. Bei einem GWP von 310 ist dies gleichzusetzen mit einer Menge von 732 200 t CO₂-Äquivalent. Insgesamt kann somit im Bereich der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger ein Minderungspotential von 11 046 719 t CO₂-Äquivalent ausgeschöpft werden.

Tabelle 8. Veränderungen der Emissionen von Methan (CH₄), Ammoniak (NH₃) und Distickstoffoxid (N₂O) aus dem Wirtschaftsdünger-Management durch die Fermentation anfallender Rinder- und Schweinegülle in Biogasanlagen

	Rindergülle	Schweinegülle	Summe
CH₄-Emissionen			
Anteil an CH ₄ -Emissionen aus Wirtschaftsdünger-Management [1 000 t]	786	510,9	1 296,9
Spezifisches Reduktionspotential nach Tabelle 4	-59%	-20%	
Reduktionspotential [1 000 t]	463,7	102,2	565,9
Reduktionspotential in CO ₂ -Äquivalent [1 000 t]	9 738,5	2 145,8	11 884,3
Indirekte N₂O-Emissionen (aus NH₃)			
Anteil an NH ₃ -Emissionen aus Wirtschaftsdünger-Management [1 000 t]	294,4	124,2	418,6
Spezifisches Reduktionspotential nach Tabelle 4	+1%	+25%	
Wachstumspotential [1 000 t]	2,9	31,1	34
Wachstumspotential in CO ₂ -Äquivalent [1.000 t]	9,1	96,3	105,4
Direkte N₂O-Emissionen			
Anteil an N ₂ O-Emissionen aus Wirtschaftsdünger-Management [1 000 t]	6,1	1,4	7,5
Spezifisches Reduktionspotential nach Tabelle 4	+30%	+38%	
Wachstumspotential [1 000 t]	1,8	0,5	2,4
Wachstumspotential in CO ₂ -Äquivalent [1 000 t]	567,3	164,9	732,2

Quelle: eigene Berechnung nach AMON und DÖHLER, 2004: 157

4.2 Theoretisches Reduktionspotential aus der energetischen Verwertung des im Wirtschaftsdünger-Management anfallenden Methans

In diesem Abschnitt werden die Emissionseinsparungen aus der Fermentation und der sich anschließenden energetischen Verwertung des Gesamtwirtschaftsdüngeraufkommens nach Daten der KTBL berechnet (KTBL, 2004: 2)

Ausgehend von den in Tabelle 7 aufgeführten Wirtschaftsdüngermengen lässt sich nach (1) ein Methanertrag von 1 999 146 t berechnen, der durch die Fermentation des gesamten Gülle und Festmistanfalls in Deutschland zu erzielen wäre. Geht man vereinfachend davon aus, dass diese Menge ansonsten durch organischen Abbau ungenutzt in die Atmosphäre gelangt wäre, kommt dies einer Emissionsminderung von 41 982 062 t CO₂-Äquivalent gleich. Dem gegenüber stehen die CO₂ Emissionen, die mit der Oxidation des CH₄ bei der energetischen Verwertung in Biogasanlagen entstehen. Unterstellt man die weiter oben genannte vollständige stöchiometrische Umsetzung entstehen so Emissionen in Höhe von 4 398 121 t CO₂.

Weitere Minderungsleistungen entstehen hingegen durch die regenerative Produktion von Strom und Wärme. Die Höhe der dabei erzielbaren THG-Reduktionen hängt von den spezifischen Emissionen des jeweils zugrunde gelegten Referenzsystems ab. Zur Berechnung des dabei vorhandenen Potentials an Emissionsminderungen werden folgende Parameter angenommen:

- ein Referenz-CO₂-Emissionsfaktor von 653 g/kWh_{el} repräsentativ für den deutschen Kraftwerksmix für die Erzeugung von Strom;
- ein Referenz-CO₂-Emissionsfaktor von 204 g/kWh_{th} für die Bereitstellung thermischer Energie in einer Erdgas-Brennwerttherme;
- ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 35 % für die Verstromung in Biogasanlagen;
- ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 40 % für die Wärmeauskopplung in Biogasanlagen;
- ein Eigenenergieverbrauch der Biogasanlage von 8 % der produzierten elektrischen Energie sowie 40 % der produzierten thermischen Energie;
- einen Energiegehalt von Methan in Höhe von 9,97 kWh/m³ und eine Dichte von 722 g/m³.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass die gesamte produzierte Energie abzüglich des Eigenenergieverbrauchs einer Nutzung zugeführt wird.

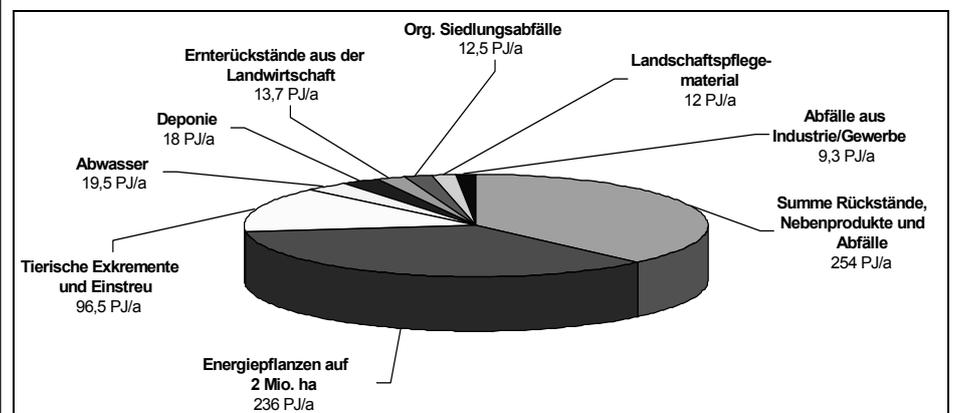
Unter den oben genannten Annahmen könnten nach (2) mit Biogasanlagen durch die energetische Verwertung des theoretisch zur Verfügung stehenden Methan-Potentials aus der Vergärung von Wirtschaftsdünger weitere Emissionsminderungen in Höhe von 7 156 176 t erreicht werden (vgl. Tab. 9). Insgesamt lassen sich unter den getroffenen Annahmen durch die Fermentation und energetische Nutzung von Wirt-

schaftsdünger 44 749 117 t CO₂-Äquivalent vermeiden. Zieht man die in 4.1 berechneten Vermeidungen bei der Lagerung und Ausbringung hinzu kommt man Zusammen auf ein theoretisches Potential von 55 786 836 t CO₂-Äquivalent. Dies entspricht einer Reduktion der deutschen THG-Gesamtemissionen im Basisjahr 1990/95 um ca. 4,5 %. Das ist das 5,6-fache dessen, was die Sektoren Energie und Industrie im Rahmen des europäischen Emissionshandels innerhalb der ersten beiden Verpflichtungsperiode von 2005 bis 2012 einsparen müssen (vgl. BMU, 2004: 22). Bei einem angenommenen Marktpreis von 20 € pro Emissionsrecht⁵ entspräche dies einem Volumen von 1,1 Mrd. €, die im ländlichen Raum durch eine unterstellte Teilnahme am Emissionshandel jedes Jahr erwirtschaftet werden könnte.

4.3 Das technisch realisierbare Potential der Biogaserzeugung in Deutschland

Eine Erschließung des gesamten anfallenden Wirtschaftsdüngers für die Biogaserzeugung ist aus verschiedenen Gründen nicht machbar. Deshalb soll im weiteren errechnet werden wie viel Emissionen in der Landwirtschaft durch zurzeit tatsächlich zu Verfügung stehenden Biomasse eingespart werden können. Die nachfolgenden Berechnungen basieren auf einer Einschätzung der FNR zur technisch nutzbaren Biomassekapazität in Deutschland (FNR, 2005a: 5). Aus Abbildung 2 geht hervor, dass ein Energiepotential von insgesamt 671,5 PJ/a⁶ zur Erzeugung von Nutzenergie in Biogasanlagen vorhanden ist. Zieht man davon die Herkunftsbereiche „Abfälle aus Industrie/Gewerbe“, „Organische Siedlungsabfälle“, „Abwasser“ sowie „Deponie“ ab, verbleiben 611,7 PJ, die aus landwirtschaftlicher Nutzung entstammen. Diese Energiemenge ist nach (3) äquivalent mit 12 304 898 t Methan. Legt man hier ebenfalls die weiter oben genannten Parameter zur Berechnung des THG-Vermeidungspotentials an, ergeben sich daraus nach Tabelle 10 technisch umsetzbare Emissionseinsparungen für die Substitution fossiler Energieträger in Höhe 44 046 818 t CO₂-Äquivalent. Davon sind wiederum durch die Konvertierung von CH₄ zu CO₂ bei der Verbrennung 27 070 776 t CO₂ ab-

Abbildung 2. Nutzbares Energiepotential an Bio-, Klär- und Deponiegas in Deutschland, aufgeschlüsselt nach Herkunft der zur Verfügung stehenden technisch nutzbaren Biomassekapazitäten



Quelle: FNR, 2005: 5

⁵ Ein EU-Emissionsrecht berechtigt den Inhaber zur Emission von 1 t CO₂-Äquivalent.

⁶ PJ = 10¹⁵ J

Tabelle 9. Mögliche Emissionseinsparungen durch die energetische Nutzung des theoretischen Methanpotentials von 1 999 146 t aus der Fermentation von Wirtschaftsdünger mit den Emissionsfaktoren des deutschen Kraftwerksmixes (653 g_{CO2}/kWh_{el}) und dem einer Erdgas-Brennwerttherme (204 g_{CO2}/kWh_{th}) als Referenzszenario

	Gesamt [1 000 t]	davon aus Strom [1 000 t]	davon aus Wärme [1 000 t]
Bruttosumme vermeidbarer Emissionen in CO ₂ -Äquivalenten	8 562	6 309	2 253
Summe der Emissionen aus Eigenverbrauch in CO ₂ -Äquivalenten	1 406	505	901
Nettosumme vermeidbarer Emissionen in CO₂-Äquivalenten	7 156	5 805	1 352

Quelle: eigene Berechnung

Tabelle 10. Mögliche Emissionseinsparungen durch die energetische Nutzung des technischen Methanpotentials von 12 304 898 t aus der Landwirtschaft mit den Emissionsfaktoren des deutschen Kraftwerksmixes (653 g CO₂/kWh_{el}) und dem einer Erdgas-Brennwerttherme (204 g CO₂/kWh_{th}) als Referenzszenario

	Gesamt [1 000 t]	davon aus Strom [1 000 t]	davon aus Wärme [1 000 t]
Bruttosumme vermeidbarer Emissionen in CO ₂ -Äquivalenten	52 700	38 834	13 865
Summe der Emissionen aus Eigenverbrauch in CO ₂ -Äquivalenten	8 653	3 107	5 546
Nettosumme vermeidbarer Emissionen in CO₂-Äquivalenten	44 047	35 728	8 319

Quelle: eigene Berechnung

zuziehen. Geht man weiterhin vereinfachend davon aus, dass oben genannte Menge an Methan andernfalls durch organischen Abbau ungenutzt in die Atmosphäre gelangen würde, kommen weitere Einsparungen in Höhe von 258 402 858 t CO₂-Äquivalent hinzu. Insgesamt können dadurch Emissionseinsparungen in Höhe von 275 378 900 t CO₂-Äquivalent erzielt werden. Dies entspricht einem Anteil in Höhe von 22,0 % der deutschen Gesamtemissionen an THG im Basisjahr 1990/95 und damit dem 27,5-fachen der bereits genannten Reduktionsanforderung an den Energie- und Industriesektors in den ersten beiden Verpflichtungsperioden. Unter Zugrundelegung des ebenfalls bereits genannten Preises für Emissionszertifikate von 20 € pro t CO₂-Äquivalent könnten somit 5,5 Mrd. € im ländlichen Raum erwirtschaftet werden.

5. Diskussion

Die Landwirtschaft stellt mit großem Abstand hinter den energiebedingten Emissionen den zweitgrößten nationalen Emittenten an Treibhausgasen dar. Auf Grundlage des Verursacherprinzips sollte sie deswegen auch in Anstrengungen hinsichtlich des Klimaschutzes eingebunden werden, was sie beispielsweise durch den Bau von Biogasanlagen und der damit verbundenen regenerativen Energieerzeugung

auch tut. Von den dabei erbrachten Minderungsleistungen kann sie jedoch noch nicht profitieren, da die Landwirtschaft bislang vom EU-Emissionshandel ausgeschlossen ist.

Die Möglichkeiten zur Reduktion von THG in der Landwirtschaft beschränken sich im Rahmen technischer Maßnahmen vorwiegend auf die Vermeidung von Methanemissionen aus anfallenden Abfallstoffen. Die hier vorgestellte Berechnung für Wirtschaftsdünger zeigt exemplarisch auf, welches Potential vorhanden ist. Dabei wird ersichtlich, dass die Minderungsleistung durch das Auffangen des bei der Fermentation anfallenden CH₄ wesentlich größer ist, als in der sich anschließenden energetischen Verwertung. Bei der Bewertung des technischen Potentials ist jedoch zu bemerken, dass nicht alle in die Berechnung eingegangenen Stoffe Abfallprodukte sind, denen keine Emissionen aus den Vorketten ihres ursprünglichen Herstellungsprozesses angelastet werden können. Dies gilt insbesondere für die Erzeugung von Energiepflanzen, bei denen die Emissionen der Produktion eigentlich mit in die Bilanz eingerechnet werden müssen. Aus diesem Grund ist das tatsächliche technische Emissionsminderungspotential geringer als hier berechnet. Trotzdem lassen sich im Zusammenspiel aller aufgeführten Faktoren zur Emissionsminderung

Größenordnungen erzielen, welche die heutigen Anforderungen zum Klimaschutz in der Energiewirtschaft und Industrie bei weitem übertreffen. Die Landwirtschaft könnte also wesentlich dazu beitragen, dass in Kioto eingegangene THG-Reduktionsziel der Bundesrepublik zu erreichen.

Um das Minderungspotential der Landwirtschaft weiter auszuschöpfen, müssen die energie- und agrarpolitischen Rahmenbedingungen so gestaltet werden, dass ein weiterer Ausbau der Biogasanlagenkapazitäten ermöglicht wird und vorhandene Biomasse – insbesondere Wirtschaftsdünger – dort auch tatsächlich eingesetzt wird. Zusätzlich muss durch neue Lenkungsinstrumente eine Erschließung größerer Mengen des vorhandenen Wirtschaftsdüngerpotentials realisiert werden. Dazu ist zum einen eine Fortführung der Förderung des Einsatzes von Wirtschaftsdünger durch das Erneuerbaren-Energie-Gesetzes für Biogas über 2007 hinaus notwendig, zum anderen müssen neue Anreize zur Kopplung von Tier- und Energieproduktion an bestehenden Standorten geschaffen werden. Wird eine entsprechende politische Umsetzung sowie die Teilnahme von Biogasanlagen am Emissionshandel erreicht, können zusätzlich beträchtliche finanzielle Mittel durch den Verkauf von Emissionsrechten im ländlichen Raum erwirtschaftet werden.

Literatur

- AMON, T. und H. DÖHLER (2004): Qualität und Verwertung des Gärrestes. In: FNR (Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe): Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. In: http://www.fnr-server.de/cms35/Aktuelle_Nachricht.995+M5740d227508.0.html, Stand 13.09.05.
- ASUE (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.) (2005): Erdgas für Haus und Auto. In: http://www.asue.de/images/veroeff_pdf/H_und_V.pdf, Stand 8.12.05.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2004): Nationaler Allokationsplan für die Bundesrepublik Deutschland 2005-2007. In: http://www.bmu.de/files/nap_kabinettsbeschluss.pdf, Stand 13.09.05.
- DÄMMGEN, U. (2004): Nationaler Inventarbericht 2004 – Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen: Teilbericht für die Quellgruppe Landwirtschaft. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 260. In: http://www.aoe.fal.de/dokumente/lbf/FAL-Landbauforschung_SH260_1.pdf, Stand 13.09.05.
- FNR (Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe) (2005a): Basisdaten Biogas Deutschland. In: http://www.fnr-server.de/pdf/literatur/pdf_185bd_biogas_03_2005.pdf, Stand 13.09.05.
- (2005b): Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung; Kapitel 4: Beschreibung ausgesuchter Substrate. In http://www.fnr-server.de/cms35/Aktuelle_Nachricht.995+M5740d227508.0.html, Stand 13.09.05.
- FRITSCHKE, U.R. (2003): Energiebilanzen und Treibhausgas-Emissionen für fossile Brennstoffketten und Stromerzeugungsprozesse in Deutschland für die Jahre 2000 und 2020. In: http://www.nachhaltigkeitsrat.de/service/download/pdf/Energiebilanzen_fossil_und_Strom_08-03.pdf, Stand 20.09.05.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (2004) Wirtschaftsdüngeranfall in der Bundesrepublik Deutschland. In: <http://66.249.93.104/custom?q=cache:Lju1b9hGHAJ:www.ktbl.de/duengung/wirtschaftsduenger.htm+Wirtschaftsd%C3%BCngeranfall+2002&hl=de&ct=clnk&cd=2&ie=UTF-8>, Stand 10.05.06.
- LFL (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft) (2004): Biogashandbuch Bayern. Kap. 1.6: 7. In: <http://www.bayern.de/lfu/abfall/biogashandbuch/kapitel/kap16.pdf>, Stand 13.09.05.
- MOSIER, A.R., C. KROEZE, C. NEVISON, O. OENEMA, S. SEITZINGER and O. VAN CLEEMPUT (1998): Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emission through the agricultural nitrogen cycle. OECD/IPCC/IEA phase II development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology. In: Nutrient Cycling in Agroecosystems 52 (Heft 52): 225-248.
- PÖLLINGER, A. (2004): Klimarelevante Emissionen aus der Landwirtschaft. Heffterhofer Umweltgespräche „Klimawandel und Landwirtschaft – Auswirkungen und Strategien“. In: http://www.heffterhof.at/img/3Klimawandel%20u%20Emissionen_Poellinger.pdf, Stand 13.09.05.
- SENSI, A. (Eurostat) (2005): Landwirtschaft und Klimawandel. In: http://europa.eu.int/comm/agriculture/envir/report/de/clima_de/report.htm, Stand 13.09.05.
- UMWELTBUNDESAMT (2004a): Deutsches Treibhausgasinventar 1990-2002, Nationaler Inventarbericht 2004. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. In: <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2931.pdf>, Stand 13.09.05.
- UMWELTBUNDESAMT (2004b): Emissionsfaktoren und Kohlenstoffgehalte. In: http://www.dehst.de/cln_027/SharedDocs/Downloads/DE/RISA_tabellen/Emissionsfaktoren_und_C-Gehalte.templateId=raw.property=publicationFile.pdf/Emissionsfaktoren_und_C-Gehalte, Stand 20.09.05.
- WULF, S. (2003): Untersuchung der Emission direkt und indirekt klimawirksamer Spurengase während der Lagerung und nach der Ausbringung von Kofermentationsrückständen sowie Entwicklung von Verminderungsstrategien. Abschlussbericht DBU-AZ 08912, Bonner Agrikulturchemische Reihe, Band 16.

Kontaktautor:

JENS WEGENER

Institut für Agrartechnik der Georg-August Universität Göttingen

Gutenbergstraße 37, 37075 Göttingen

Tel.: 05 51-39 55 91, Fax: 05 51-39 55 95

E-Mail: jwegene@gwdg.de

* Zusammengestellt aufgrund von Mitteilungen der agrarökonomischen Institute und Fachbereiche.