AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
http://ageconsearch.umn.edu
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

Biogasproduktion in Deutschland – Sollte die energetische Nutzung von Wirtschaftsdünger explizit gefördert werden?

Biogas Production in Germany – Should the Energetic Use of Manure be Explicitly Promoted?

Jochen Thiering und Enno Bahrs
Universität Hohenheim

Zusammenfassung

Für den politisch gewünschten Ausbau der Nutzung regenerativer Energien wird eine Steigerung der Biogasproduktion insbesondere auf Basis landwirtschaftlicher Reststoffe wie Wirtschaftsdünger als vorteilhaft angesehen. Obwohl dieser Reststoff produktionskostenfrei zur Verfügung steht, erfolgt in Deutschland die Biogaserzeugung vermehrt aus speziell dafür angebauten Energiepflanzen, während der überwiegende Teil des Wirtschaftsdüngerpotenzials bislang ungenutzt bleibt. Vor diesem Hintergrund wird die Förderwürdigkeit einer energetischen Wirtschaftsdüngernutzung erörtert. Die Ergebnisse auf Basis von Literaturauswertungen und Investitionsrechnungen zeigen, dass die Vermeidung von Treibhausgasen mit Biogas aus Wirtschaftsdünger sowie seine Energieeffizienz im Vergleich mit Biogas aus Silomais ein hohes Potenzial aufweist und geringere externe Kosten verursachen kann. Wirtschaftsdüngertransporte weisen dabei einen hohen Einfluss auf die THG-Vermeidungskosten auf, wobei geringe Transportentfernungen in Kauf genommen werden können. Einzelbetrieblich bestehen jedoch häufig wirtschaftliche Hemmnisse für die Verwendung von Wirtschaftsdünger im Vergleich zu Energiepflanzen. Mit dem Wirtschaftsdüngeranteil steigen vielfach die Stromgestehungskosten, insbesondere, wenn der Reststoff transportiert werden muss oder gesonderte Kapazitäten für Gärrestlagerungen aufgebaut werden müssen. Insgesamt erscheint vor diesem Hintergrund eine Förderung der energetischen Wirtschaftsdüngernutzung im Allgemeinen sinnvoll. Die im Rahmen des EEG 2012 vorgenommene Entkopplung des Wirtschaftsdüngereinsatzes von anderen Substraten kann grundsätzlich als sinnvoll bezeichnet werden, damit die aufgrund der Wirtschaftsdüngerförderung durch das EEG 2009 entstehenden Effekte im Bodenmarkt verringert werden. Allerdings bleibt fraglich, ob mit dem EEG 2012 eine hohe Ausnutzung des vorhandenen Potenzials an Wirtschaftsdünger induziert werden kann.

Schlüsselwörter

Wirtschaftsdünger; Biogasproduktion; Treibhausgas; Energieeffizienz; Stromgestehungskosten; Förderung; EEG

Abstract

For the politically desired increase in the use of renewable energies, in particular an increase of biogas production based on agricultural residues such as manure is regarded as beneficial. Although this residue can be supplied without any production costs, the biogas production made in Germany increased especially based on cultivated energy crops. The predominant part of the accruing manure is not used yet. In this paper, therefore, the need for additional promotion of energetic use of manure is discussed. The results based on literature values and investment calculations show that the avoidance of greenhouse gases (GHG) with biogas from manure causes a high potential and low external cost compared to biogas of corn silage. Manure transports influence the costs of GHG mitigation strongly; nevertheless low transport distances may be accepted. However, individual economic barriers exist for the use of manure instead of energy crops. An increase of manure proportion often increases the electricity production costs especially if manure has to be transported. In conclusion, it seems to be appropriate to promote the energy use of manure with the aim of a high utilization of the existing potential and an avoidance of unwanted effects to the land markets.

Key Words

manure; biogas production; greenhouse gas; electricity production costs; energy efficiency; promotion; EEG

1 Einleitung

In der Europäischen Union sollen gemäß der Richtlinie 2009/28/EG bis 2020 mindestens 20 % des europäischen Energiebedarfs durch regenerative Energien gedeckt werden, um den Einsatz fossiler Energieträger sowie die Emission von Treibhausgasen (THG) zu verringern (EUROPÄISCHE UNION, 2009). Neben Geothermie, Wasser-, Wind- und Solarenergie soll auch die Bioenergieproduktion einen Beitrag dazu leisten. Im Rahmen der Biogasproduktion werden dazu auch Nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) und der landwirtschaftliche Reststoff Wirtschaftsdünger (tierischer Herkunft) genutzt (KALTSCHMITT et al., 2003). Der Einsatz dieser Substrate wird in Deutschland seit 2004 im Rahmen des Gesetzes zum Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) explizit über den NawaRo-Bonus gefördert. Als besonders vorteilhaft erscheint auch aus politischer Sicht die Reststoffnutzung (BMELV und BMU, 2009). Sie soll eine Steigerung der Bioenergieproduktion induzieren bei gleichzeitiger Minimierung von Flächenkonkurrenzen zur Nahrungsmittelproduktion. Darüber hinaus können mit dem Wirtschaftsdüngereinsatz für die Biogasproduktion hohe Mengen an THG, bezogen auf die produzierte Energiemenge, eingespart werden (RAHMESOHL et al., 2006; IFEU, 2008).

Trotz des im Vergleich zu anderen Ländern der EU erheblichen Ausbaus der Biogasproduktion erfolgte der Einsatz landwirtschaftlicher Substrate in Deutschland bislang zu großen Anteilen aus speziell dafür angebauter Biomasse, während das vorhandene Potenzial von Wirtschaftsdünger nur zu einem geringen Anteil genutzt wird (FNR, 2009; IFEU, 2008; ML NDS, 2009). Mit der Einführung des sogenannten Güllebonus, der als Aufschlag auf den NawaRo-Bonus gewährt wird, wenn ein Mindesteinsatz von 30 % Wirtschaftsdünger erfolgt, wurde der Wirtschaftsdüngeranteil für die Biogasproduktion erhöht. Allerdings bestehen noch erhebliche Reserven für eine weitere Ausschöpfung (THIERING und BAHRS, 2010). In der Praxis wird Anbaubiomasse dem Wirtschaftsdünger vielfach vorgezogen, obwohl Letzterer produktionskostenfrei zur Verfügung steht. Andererseits entstanden bereits vor dem EEG 2004 einige Biogasanlagen mit hohen Wirtschaftsdüngeranteilen zwischen 80 und 100 %, insbesondere in den neuen Bundesländern (REINHOLD, 2009). Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob und inwieweit der Einsatz von Wirtschaftsdünger im Vergleich zu Energiepflanzen für die Biogasproduktion erhöht werden sollte und dabei ggf. förderwürdig ist. Dazu sind im Kontext volkswirtschaftlicher Effekte die Potenziale und Kosten des Wirtschaftsdüngereinsatzes im Hinblick auf die Einsparung von Energie und Treibhausgasen im Vergleich zu Energiepflanzen von Bedeutung. Dafür ist auch eine Analyse der einzelbetrieblichen Voraussetzungen für den Wirtschaftsdüngereinsatz notwendig. In diesem Zusammenhang erfolgt u. A. eine Berechnung der Stromgestehungskosten in Abhängigkeit von der Substratzusammensetzung und der Anlagengröße mit Hilfe der Investitionsrechnung sowie mit Hilfe von Erhebungen zu den technischen Wirtschaftsdüngerpotenzialen in Deutschland. Damit kann aufgezeigt werden, ob und inwieweit wirtschaftliche bzw. nichtwirtschaftliche Hemmnisse gegen einen Ausbau der Nutzung des Reststoffs gegenüber Anbaubiomasse bestehen (IFEU, 2008). Aufbauend auf den Ergebnissen lassen sich Empfehlungen ableiten, die als Basis für eine optimierte Förderung der energetischen Wirtschaftsdüngernutzung nützlich sein können.

2 Datengrundlage und Modellaufbau

Für die Analyse der Zweckmäßigkeit einer Förderung und ggf. festzusetzender Förderumfänge müssen die Kosten im Zusammenhang mit der Biogasproduktion zumindest exemplarisch bzw. in einer Spanne abgebildet werden, damit die Konsequenzen einer gegenwärtigen sowie avisierten bzw. vorzuschlagenden Förderung deutlich gemacht werden können. Zu diesem Zweck ist ein besonderer Fokus auf den Vergleich zwischen Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger im abzubildenden Kostenmodell zu legen. Die grundlegenden Annahmen zu den berechneten drei Modellanlagen mit Verstromung vor Ort sowie einer Leistung von 150, 250 und 500 kW sind in Tabelle 1 aufgeführt.[1]

Einige der in der Tabelle 1 aufgeführten Betriebskostenpositionen hängen von den Herstellungskosten (Hk) der Biogasanlage, aber auch von der individuellen Betriebsführung ab. Die Kosten sind somit als exemplarisch, aber dennoch repräsentativ als Auszug aus größeren Spannen anfallender Kosten zu verstehen (vgl. FNR, 2009).

[1] Der Beitrag entstand weit vor der Zeit des Beschlusses zum EEG 2012, sodass die als „Gülleanlagen“ bezeichneten Biogasanlagen bis 75 kW keine Berücksichtigung fanden.

Tabelle 1. Parameter für die Kostenkalkulation der Modellanlagen

	Einheit	Modellanlage		
		150	250	500
El. Wirkungsgrad	%	35*	37*	38*
Th. Wirkungsgrad	%	45*	44*	43*
Anlagenbetreuung	h/d	3	5	7
BHKW-Volllast	h/a	8000		
Kapitalzinssatz	%	5		
Wartung BHKW	ct./kWh$_{el}$	5,88*kW$_{el}^{-0,27}$		
Wartung sonstiges	% der Hk	1,5		
Versicherung	% der Hk	0,5		
Eigenenergie	% erz. Strom	7		
Stromzukauf	ct./kWh$_{el}$	15		
Schmierstoffe	ct./kWh$_{el}$	0,1		
Gemeinkosten	€/kW$_{el}$	10		
Personalkosten	€/h	25		
Laboranalyse	€/Analyse	120		

* In der Praxis weichen die Wirkungsgrade vielfach von den angegebenen Werten ab. Sie sind somit lediglich als Anhaltspunkt zu interpretieren.

Quelle: eigene Darstellung gemäß KTBL (2009), ASUE (2005)

Die Herstellungskosten sind stark determiniert durch die Leistung des BHKW. Von ihr hängt ab, wie viel Methan erzeugt werden kann bzw. muss. Die frischmassebezogenen Methanerträge von Substraten sind für die weiteren Berechnungen von besonderer Bedeutung. So lassen sich aus flüssigen Wirtschaftsdüngern wie Rinder- und Schweinegülle im Vergleich zu Silomais relativ geringe Methanmengen generieren (vgl. KTBL, 2009). Wird mit diesem Flüssigmist Silomais oder sonstige Anbaubiomasse substituiert, sinken zwar die notwendigen Lagerräume für Energiepflanzensilage und die damit zusammenhängenden Herstellungskosten für Silagelager. Der jährliche Substratdurchsatz der Biogasanlage steigt jedoch stark an. Dies hat wiederum Auswirkungen auf das notwendige Fermenter- und Gärrestlagervolumen. Für die Berechnung des zur Fermentation der Substratmengen notwendigen Faulraums werden gemäß KTBL (2009) eine Mindestverweilzeit von 30 Tagen sowie eine maximale Faulraumbelastung in Höhe von 2,5 kg oTS/m³ Faulraum angenommen. Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass die Dichte im Fermenter bei 1 t/m³ liegt und auch die eingesetzten Substratmassen in ein entsprechendes Volumen umgerechnet werden können (KEYMER und PAHL, 2009).

Das notwendige Lagervolumen für aus der Fermentation übergebliebene Gärreste hängt neben der anfallenden Menge auch von der gewünschten Lagerdauer und möglicherweise vorhandenen und nutzbaren außenstehenden Güllelager ab. Es wird vereinfachend angenommen, dass für die anfallenden Gärreste eine Lagerkapazität der Modellanlagen von 6 Monaten neu gebaut wird und die Gärrestlager gasdicht abgedeckt werden. Die spezifischen Kosten für das Gärrestlager und den Fermenter hängen von den installierten Behältervolumina ab (vgl. KTBL, 2009). Tabelle 2 zeigt die dazu getroffenen Annahmen. Die spezifischen Investitionskosten für den Fermenter werden auf 100 €/m³ bis zu einem Nettofaulraum von 1 200 m³ sowie auf 85 €/m³ ab einem Volumen von 4 000 m³ festgelegt. Zwischen diesen Grenzwerten werden die spezifischen Herstellungskosten linear interpoliert.[2] Vergleichbar wird auch bei der Berechnung des Gärrestlagers vorgegangen. Für das Silagelager wird vereinfachend angenommen, dass die spezifischen Herstellungskosten unabhängig vom Volumen bei 20 €/m³ liegen. Die gezeigten Annahmen gelten einheitlich für alle Modellanlagen.

Als weitere bauliche Anlage wurden Anschaffungs- bzw. Herstellungskosten für das Blockheizkraftwerk (BHKW) sowie den Substrateintrag berücksichtigt (ASUE, 2005; KTBL, 2008; KTBL, 2009). Auf die Investitionskosten wurde ein Planungs- und

Tabelle 2. Annahmen zu den spezifischen Herstellungskosten (Hk) von Fermenter, Gärrestlager und Silolager

	Minimale spez. Hk [€/m³]	ab Nettovolumen [m³]	Maximale spez. Hk [€/m³]	bis Nettovolumen [m³]	Annahme Ø Hk[€/m³]	AfA*
Fermenter	85	4 000	100	1 200	-	9%
Gärrestlager	60	4 000	80	1 100	-	9%
Silagelager	-	-	-	-	20	5%

* Die steuerliche Absetzung für Abnutzung (AfA) kann von den angegebenen Werten abweichen.

Quelle: eigene Annahmen in Anlehnung an KTBL (2008), KTBL (2009), THAYSEN (2007)

[2] Der kleinste kalkulierte Fermenterraum in den folgenden Berechnungen beträgt knapp 1 200 m³. Die lineare Interpolation stellt eine Vereinfachung dar, da die Behälteranzahl vom Volumen abhängt. Führt eine Volumensteigerung bspw. dazu, dass ein weiterer Behälter installiert werden muss, können die spezifischen Investitionskosten auch ansteigen. In der Praxis ergeben sich somit tendenziell sprungfixe Kosten.

Tabelle 3. Spezifische Netto-Herstellungskosten der Modellanlagen in Abhängigkeit von Art und Anteil des Wirtschaftsdüngers

Gülle von	Anlagen-Leistung [kW_{el}]	Spezifische Herstellungskosten [€/kW_{el}] Anteil Gülle [% Frischmasse]				
		0	20	50	80	100
Rindern (8 % TS)	150	4 601	4 768	5 148	6 008	9 166
	250	4 004	4 133	4 382	5 369	8 351
	500	3 330	3 448	3 796	4 751	7 744
Schweinen (5 % TS)	150	4 601	4 771	5 165	6 178	11 415
	250	4 004	4 135	4 404	5 536	10 448
	500	3 330	3 453	3 823	4 921	9 838

Quelle: eigene Darstellung und Berechnung unter Berücksichtigung von Herstellerangaben

Genehmigungskostenzuschlag in Höhe von 10 % berechnet (KTBL, 2009). In der Summe ergeben sich daraus die in der Tabelle 3 dargestellten spezifischen Herstellungskosten in Abhängigkeit vom Wirtschaftsdüngeranteil. Dabei wird ein Einsatz von Silomais und Rinder- bzw. Schweinegülle unterstellt. Auffällig sind in der Tabelle die vergleichsweise hohen spezifischen Herstellungskosten bei hohen Gülleanteilen. Diese stehen nur teilweise im Zusammenhang mit den Herstellungskosten für den Fermenter. Ausgehend von einer reinen Silomaisnutzung determiniert zunächst die maximale Faulraumbelastung das zu installierende Fermentervolumen. Die Verweilzeiten betragen dann als Residualgröße mehr als 120 Tage. Mit steigenden Gülleanteilen nehmen die Verweilzeiten immer weiter ab. Erst ab Gülleanteilen zwischen ca. 85 und 95 % greift die minimale Verweilzeit als zweite Restriktion. Ab diesem Punkt errechnet sich die Faulraumbelastung als Residualgröße und die zu installierenden Fermentervolumina steigen bei Erhöhung des Gülleanteils stärker an.[3] Größeren Einfluss auf die Investitionskostenerhöhung mit steigendem Gülleanteil besitzt jedoch insgesamt das Gärrestlager, da die dafür angesetzten Kosten annahmegemäß unmittelbar mit der eingesetzten jährlichen Substratmenge zusammenhängen. Zu berücksichtigen ist an dieser Stelle, dass die gesetzlichen Rahmenbedingungen für eine Nutzung vorhandener Lagerkapazität für die Genehmigungsbehörden Spielräume zur Interpretation bieten (SCHULZE, 2010), die auch die hier betrachteten Modellanlagen betreffen können. Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die vorgeschriebene Lagerkapazität sowie die Notwendigkeit einer gasdichten Abdeckung der Gärrestlager (vgl. dazu auch DÜV, 2009 sowie BIMSCHV, 2009).[4] Kann die Abdeckung komplett oder für einen Teil des Lagerraums entfallen, können bestehende Wirtschaftsdüngeraußenlager[5] ohne Umbaukosten genutzt werden.[6] Allerdings wären dann ggf. zusätzliche Transportkosten zu berechnen, die einen Teil der eingesparten Investitionskosten wieder aufzehren. Eine weitere Option könnte eine gasdichte Abdeckung eines bestehenden Außenlagers sein. Das ist jedoch i. d. R. nur für die in direkter Biogasanlagennähe stehenden Lager sinnvoll, da die in einem gasdichten Behälter entstehenden Gase verwertet werden müssen. Allerdings können insbesondere für neue Stallanlagen mit angrenzender Biogasanlage Synergieeffekte in Bezug auf die Kosten für den Bau von Lagerraum für Gülle- bzw. Gärrestlagerraum entstehen. Vor diesem Hintergrund sind die im Folgenden berechneten Kosten für die Biogasproduktion aus Wirtschaftsdünger als Diskussionsgrundlage zu betrachten. Sie zeigen vereinfachend die Kostenentwicklung, wenn für die Biogasproduktion alle baulichen Anlagen komplett neu installiert werden müs-

[3] In der Praxis kann eine von den Annahmen abweichende Faulraumbelastung möglich sein. Sie hängt auch von der Betriebsweise (Nass- oder Trockenfermentation) ab. Die minimale Verweilzeit besitzt einen Einfluss auf das Restgaspotenzial der Substrate (FNR, 2009). In Bezug auf die folgenden Ergebnisse hätte sowohl eine Erhöhung der zulässigen Faulraumbelastung als auch die Anhebung der minimal akzeptablen Verweilzeit zur Folge, dass hinsichtlich der Kosten der Biogasproduktion Silomais im Vergleich zur Gülle verhältnismäßig günstiger abschneidet.

[4] Gemäß Anlage 2 des EEG 2009 besteht für Biogasanlagen, die nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) genehmigungsbedürftig sind, der Anspruch auf den NawaRo-Bonus (und damit auch auf den Güllebonus) nur, sofern das Gärrestlager gasdicht abgedeckt ist.

[5] Gärreste sind in der Regel flüssig. Demnach könnten lediglich für flüssige Wirtschaftsdünger vorhandene Lagerräume angerechnet werden. Der Lagerraum müsste dazu ohne Verwendung für die Biogasanlage leer stehen oder der tierhaltende Betrieb, der das Außenlager ansonsten direkt nutzt, stellt seine Gülle für die Biogasproduktion bereit und kann bis zum Transport der Gülle zur Biogasanlage auf diesen Lagerraum verzichten.

[6] Müsste bspw. nur die Hälfte des notwendigen Lagerraums für Gärreste aus Wirtschaftsdünger neu gebaut werden, senken sich die spezifischen Herstellungskosten bei 100 % Wirtschaftsdünger um ca. 30 %.

sen. Die spezifischen Herstellungskosten können in Einzelfällen von der Praxis abweichen und hängen auch von den sonstigen (zukünftigen) gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie vom Angebots- und Nachfrageverhalten im Zeitablauf ab. In den letzten Jahren bestand eine starke Nachfrage, insbesondere bei kleineren und mittleren Anlagen, die überdurchschnittlich hohe Herstellungskosten bzw. höhere Herstellungskosten als in Tabelle 3 induzieren. Dennoch sollten die Angaben in Tabelle 3 als repräsentativ im Sinne der Analyse aufgefasst werden.[7]

Neben den Kosten spielt auch die Nutzbarkeit der erzeugten Energie für die folgende Betrachtung eine bedeutende Rolle. Aus dem Energieverkauf erzielen die Anlagenbetreiber Erlöse. Werden mit der genutzten Energie fossile Energieträger substituiert, wirkt sich dies positiv auf die Vermeidung von THG aus (vgl. Kapitel 3.1).[8] Annahmegemäß speisen die stromgeführten Blockheizkraftwerke (BHKW) den gesamten erzeugten Strom in das öffentliche Netz ein. Daneben kann auch ein Wärmeverkauf möglich sein, wenn geeignete Abnehmer in der Nähe des BHKW vorzufinden sind.

Die Möglichkeit zur Verwertung der produzierten Wärme für eine Versorgung externer Abnehmer hängt davon ab, wie viel der anfallenden Wärme für die Erhitzung der Substrate sowie die Aufrechterhaltung der Prozesstemperatur benötigt wird. Denn dieser Eigenwärmebedarf wird zumindest bei Anlagen mit Verstromung vor Ort in der Regel durch die am BHKW anfallende Wärme geleistet (vgl. IFEU, 2008; FNR, 2009). Der Wärmebedarf einer Biogasanlage hängt dabei von vielen Faktoren ab. Allgemein sind bspw. die Temperatur der Umgebung (Luft und Boden), die Wärmedurchlässigkeit der Fermenterwand und des Fermenterdachs sowie der Wirkungsgrad der Fermenterheizung von Bedeutung. Doch auch die eingesetzten Substrate determinieren den Wärmebedarf einer Anlage. Je höher die eingesetzten Volumenströme sind und je mehr beheizter Fermenterraum installiert wird, desto mehr Wärme wird benötigt. Bei IFEU (2008) wird von einem Prozesswärmebedarf von 20 % bei Biogas aus Silomais und 30 % bei Biogas aus Wirtschaftsdünger (gleich welcher Art) ausgegangen. Eigene Berechnungen gemäß REINHOLD (2005) sowie KEYMER und SCHILCHER (2007) ergeben jedoch für eine mesophil geführte Anlage (angenommene Prozesstemperatur: 38°C) größere Spannweiten (Abbildung 1).

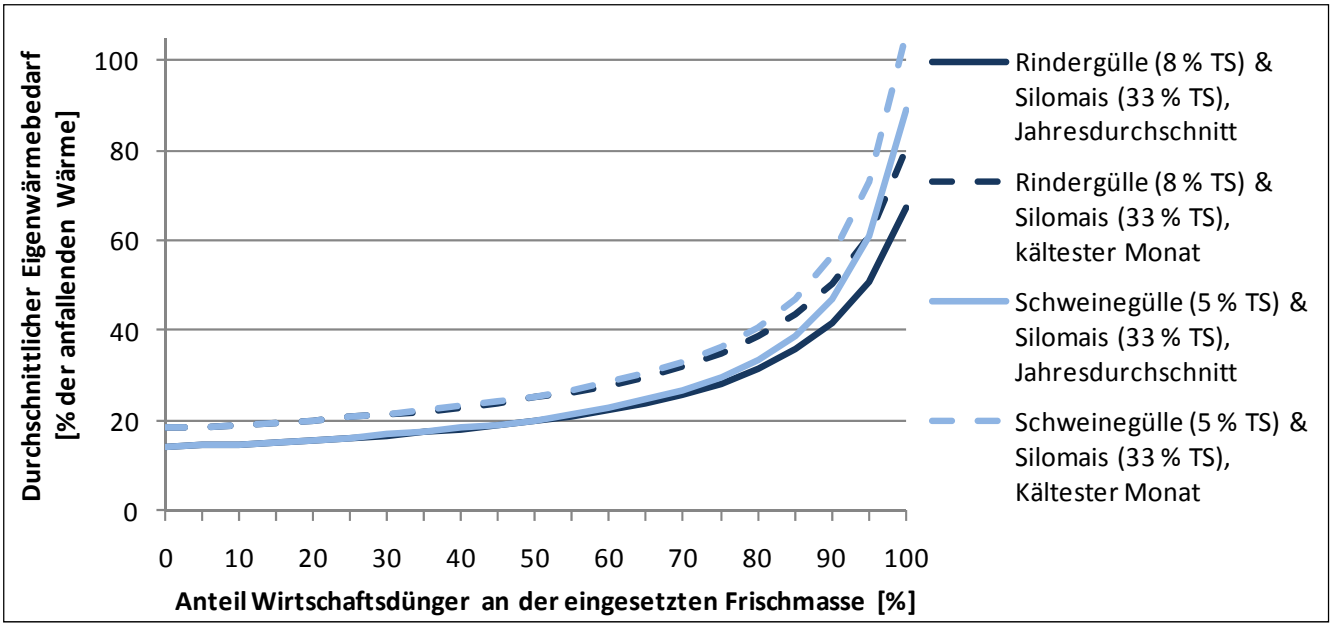
Der Prozesswärmebedarf steigt gemäß Abbildung 1 exponentiell mit dem Anteil flüssiger Wirtschaftsdünger an und korreliert sehr eng mit dem aus dem Wirtschaftsdünger gelieferten Energieanteil. Aus flüssigen Wirtschaftsdüngern lässt sich aufgrund der im Vergleich zu Silomais relativ geringen Gaserträge nur vergleichsweise wenig Wärme erzeugen. Gleichzeitig muss jedoch auch dieses Substrat für den Prozess erwärmt werden. Mit dem Wirtschaftsdüngereinsatz kann dabei der notwendige Fermenterraum ansteigen, dessen Prozesstemperatur aufrecht erhalten werden muss. Für die Biogasproduktion aus flüssigen Wirtschaftsdüngern wird somit der Großteil der im BHKW produzierten Wärme für den Prozess benötigt. Die Biogasproduktion aus Schweinegülle weist dabei in der Abbildung einen höheren Bedarf auf als die Biogaserzeugung aus Rindergülle. Im Winter, wenn üblicherweise ein höherer Wärmebedarf durch externe Abnehmer z.B. zur Gebäudebeheizung besteht, ist auch der Eigenwärmebedarf der Biogasproduktion am höchsten und liegt ca. 20 bis 30 % höher als im Jahresdurchschnitt. Er kann bei geringen Gaserträgen der Substrate sogar höher liegen als der Wärmeanfall aus dem BHKW.[9] Zumindest herrscht aufgrund möglicher Stillstandzeiten des BHKW oder extrem niedriger

[7] Die Ergebnisse der Modellkalkulationen gehen für hohe Wirtschaftsdüngeranteile über übliche Praxiswerte hinaus. In der Praxis werden Anlagen mit derart hohen Herstellungskosten nicht errichtet, da sie nicht rentabel betrieben werden können (vgl. Tabelle 4). Von Anlagenherstellern wurde in diesem Zusammenhang bestätigt, dass die Höhe der errechneten Kosten unter den getroffenen Annahmen plausibel ist (o. V., 2010a, 2010b). In Deutschland stehen allerdings bereits Anlagen, die mit hohen Gülleanteilen betrieben werden und geringere Herstellungskosten verursachten. Diese verwenden dabei vielfach bereits vor dem Bau der Biogasanlage vorhandene Güllelager aus der Tierhaltung, die nicht gasdicht abgedeckt werden mussten – entweder weil die Biogasanlage nicht unter die BImSchG-Genehmigungspflicht fällt oder weil sie vor 2009 errichtet wurde, als die Pflicht zur Abdeckung noch nicht im EEG festgeschrieben war (vgl. FN 3; FN 5; FNR, 2009).

[8] Zu den Energie- bzw. Wärmenutzungen, die keine fossilen Energieträger ersetzen, zählen z.B. die Beheizung der Fermenter oder die Trocknung von Gärresten zur Erzeugung transportwürdiger Düngemittel.

[9] Die Ergebnisse sowie die der Berechnung zugrundeliegenden Annahmen sind in diesem Zusammenhang als exemplarisch zu verstehen. Beispielsweise kann die Wärme des BHKW den Temperaturbedarf einer Biogasanlage, die ausschließlich mit Schweinegülle mit einem TS-Gehalt 6 % betrieben wird, bei sonst gleichen Annahmen auch im Winter bei weitaus niedrigeren als den angenommenen Temperaturen decken. Hersteller kommen nach eigenen Angaben zu vergleichbaren Ergebnissen (o. V., 2010a, 2010b).

Abbildung 1. Eigenwärmebedarf einer 500-kW-Biogasanlage, bezogen auf die erzeugte Wärme in Abhängigkeit vom Wirtschaftsdüngeranteil



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung gemäß REINHOLD (2005), KEYMER und SCHILCHER (2007), KTBL (2009)

Außentemperaturen eine unsichere Deckung des Eigenwärmebedarfs. Für Biogas aus flüssigem Wirtschaftsdünger besteht somit insbesondere im Winter eine geringe Wahrscheinlichkeit für eine Wärmeabgabe. Bei Biogas aus Silomais ist hingegen der zu erwartende Wärmeüberschuss wesentlich größer. Die Wärmenutzung zur Substitution fossiler Energie ist dementsprechend bei Biogas aus Silomais wesentlich wahrscheinlicher als bei Biogas aus Wirtschaftsdünger. Dieses Ergebnis ist auch für die folgenden Darstellungen zu beachten.

3 Zweckmäßigkeit einer Förderung der energetischen Wirtschaftsdüngernutzung

Spezielle Anreize bzw. Förderungen für den energetischen Einsatz von Wirtschaftsdüngern sind zwar grundsätzlich in Erwägung zu ziehen, wenn fossile Energien substituiert werden können und Treibhausgasemissionen reduzierbar sind, ggf. ohne dass Biomassen aus der Foodschiene verwendet werden. Allerdings wäre eine Förderung nur dann gerechtfertigt, wenn ihr Einsatz volkswirtschaftliche Vorteile erzielt, diese aus betriebswirtschaftlicher Perspektive jedoch nicht erreichbar sind. Im Folgenden soll vor diesem Hintergrund die Zweckmäßigkeit der Förderung der energetischen Wirtschaftsdüngernutzung erörtert werden.

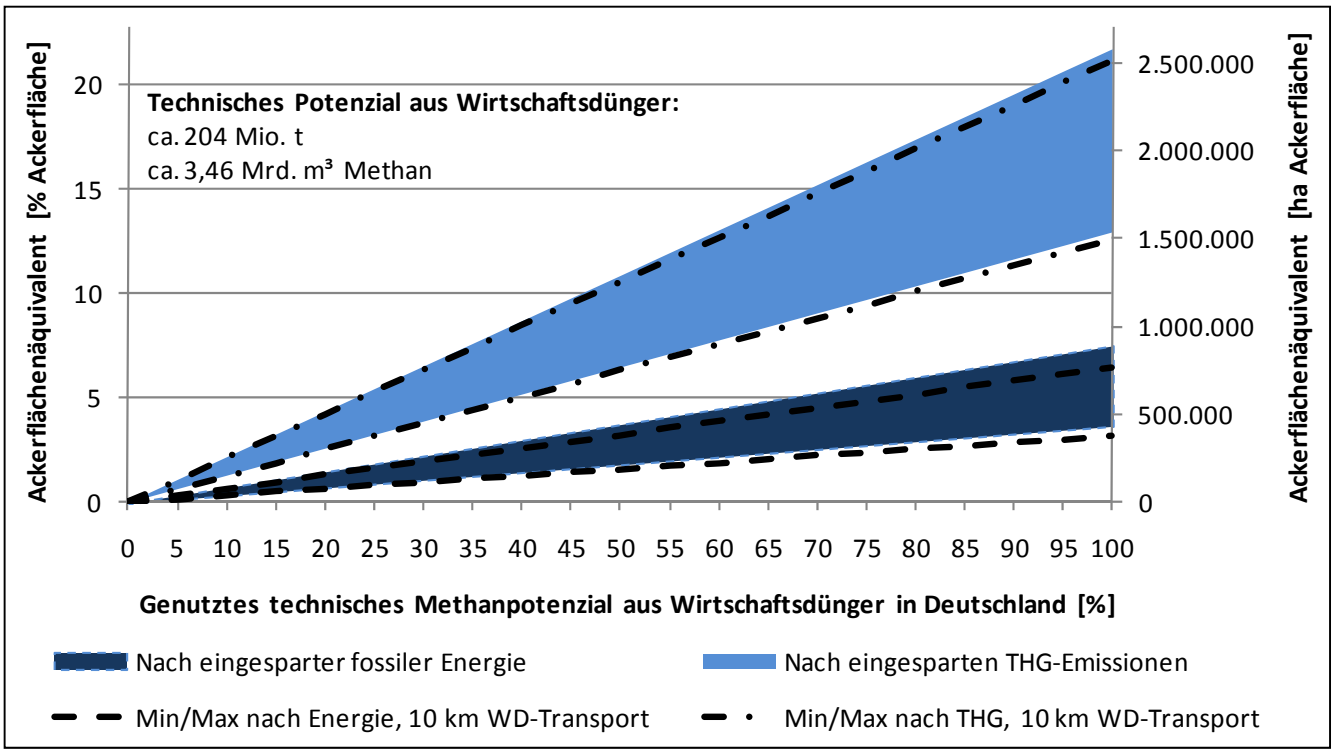
3.1 Volkswirtschaftliche Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngervergärung

In Deutschland fallen mehr als 200 Mio. t Wirtschaftsdünger an, aus denen sich nach eigenen Berechnungen[10] im Rahmen der Biogasproduktion theoretisch ca. 3,46 Mrd. m³ Methan erzeugen lassen. Damit könnten ca. 2 % der deutschen Stromproduktion abgedeckt werden. Dieses technische Potenzial darf jedoch nicht mit dem wirtschaftlichen Potenzial verwechselt werden, das signifikant darunter liegen wird. Dennoch sind die Potenziale derart bedeutend, dass eine weitere Betrachtung sehr wichtig erscheint. Dies wird auch durch Abbildung 2 deutlich, welche die mögliche Energieproduktion und THG-Vermeidung aus Wirtschaftsdünger in Form von Ackerflächenäquivalenten abbildet. D.h., wie viel Ackerfläche wäre notwendig, um die gleiche Einsparung fossiler Energieträger bzw. THG zu erreichen, wie bei der Ausschöpfung des Wirtschaftsdüngerpotenzials.[11] Sollte

[10] Eigene Berechnungen gemäß STATISTIKAMT NORD (2009) auf Basis von DÖHLER et al. (2002), KTBL (2006), KTBL (2007a), KTBL (2007b), LFL (2008) sowie LFL (2009)

[11] In Kapitel 4 wird gezeigt, dass die gegenwärtige Förderung des Wirtschaftsdüngereinsatzes dazu führt, dass im Rahmen des derzeitigen Ausbaus der Biogasproduktion sowohl Wirtschaftsdünger als auch Ackerflächen ver-

Abbildung 2. Bandbreite theoretischer Ackerflächenäquivalente einer energetischen Wirtschaftsdüngernutzung durch die Biogasproduktion und damit zusammenhängende Treibhausgas- sowie fossile Einsparpotenziale im Vergleich mit dem Silomaiseinsatz für die Biogasproduktion in Deutschland



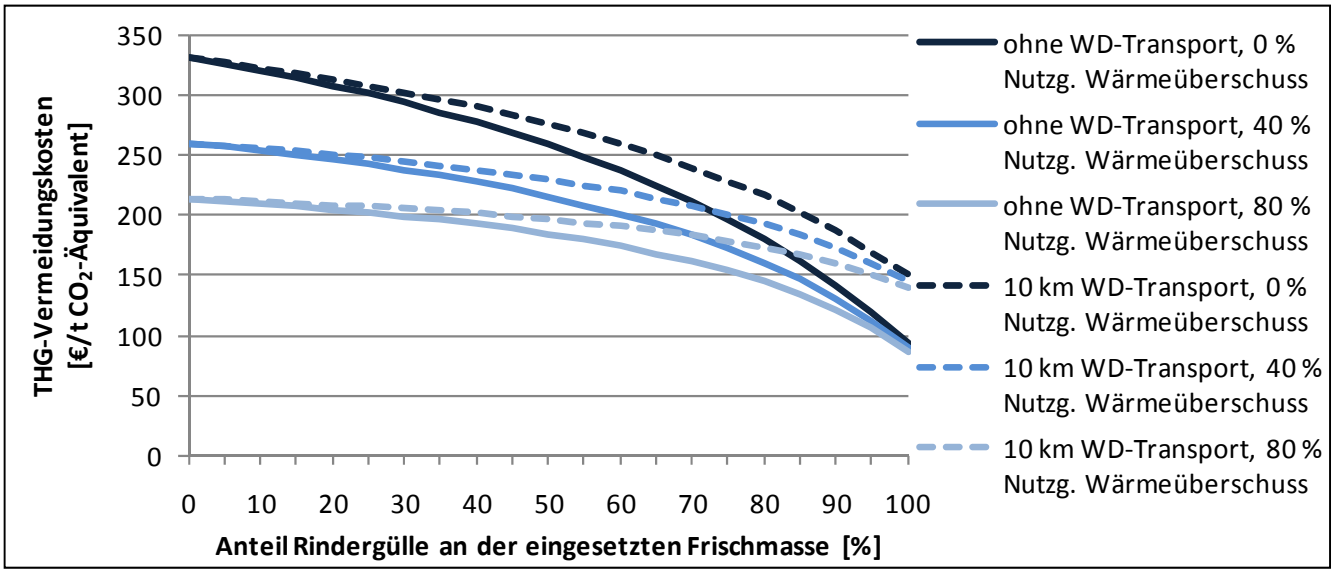
Annahmen: 43,3 t/ha deutschlandweiter Durchschnittsertrag, 100 m³/t FM Methanertrag; 37,5 % Wirkungsgrad; Wirtschaftsdünger-(WD-)Transport: 0,34 kWh/tkm, 85 g CO2e/tkm

Quelle: eigene Darstellung und Berechnung gemäß IFEU (2008), ÖKO-INSTITUT (2008), BMLFUW (2009) sowie STATISTIKAMT NORD (2009) auf Basis von DÖHLER et al. (2002), KTBL (2006), KTBL (2007a), KTBL (2007b), LFL (2008), LFL (2009)

eine mit der energetischen Wirtschaftsdüngerdüngernutzung vergleichbare Substitution fossiler Energieträger durch die Vergärung von Silomais erreicht werden, wäre ohne Berücksichtigung von Wirtschaftsdüngertransporten eine Anbaufläche in Höhe von mehr als 430 000 bis knapp 900 000 ha notwendig, sofern eine komplette Ausschöpfung des technischen Wirtschaftsdüngerpotenzials in Deutschland angesetzt wird. Das entspricht ca. 3,5 bis 7,5 % der in Deutschland verfügbaren Ackerfläche. Dabei wird ein für Deutschland durchschnittlicher Silomaisertrag in Höhe von ca. 43 t/ha zugrundegelegt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2010). Weiterhin können durch die Biogasproduktion und -nutzung auch THG vermieden werden. Die Nutzung von Wirtschaftsdünger führt dabei neben geringeren THG-Emissionen durch Einsparung fossiler Energie zur Verringerung der bei einer offenen Lagerung freiwerdenden Gase (RAMESOHL et al., 2006: 38f.; OSTERBURG et. al., 2009), insbesondere, wenn der Gärrestlagerraum gasdicht abgedeckt ist (AMON und DÖHLER, 2009). Daher fällt die spezifische THG-Vermeidung je erzeugter Energieeinheit aus Wirtschaftsdünger höher aus als aus Silomais. Die Ackerflächenäquivalente im Hinblick auf die eingesparte THG-Menge übertreffen aus diesem Grund die Ackerflächenäquivalente im Hinblick auf die eingesparte Energie und betragen bis zu ca. 1,53 bis 2,58 Mio. ha Silomais. Weitreichende Transportentfernungen üben dabei nur einen geringen Einfluss auf die THG-Einsparung aus, wie anhand der Strichpunktlinien in der Abbildung 2 zu erkennen ist. Unter der Annahme einer durchschnittlichen Entfernung von 10 km zwischen Stall und Biogasanlage sowie eines Hin- und eines Rücktransports des Wirtschaftsdüngers mit jeweiligen Leer-Rückfahrten verringert sich die THG-Vermeidung lediglich um ca.

mehrt genutzt werden. Die Annahmen der Abbildung 2 sind in Abgrenzung dazu vor dem Hintergrund einer fix zu produzierenden Biogasmenge zu verstehen, die entweder durch Wirtschaftsdünger oder Silomais entsteht, damit das Potenzial des Wirtschaftsdüngereinsatzes im Vergleich zum Energiepflanzeneinsatz aus der Perspektive vermeidbarer Treibhausgase sowie einer möglichen Einsparung fossiler Energieträger deutlich wird.

Abbildung 3. THG-Vermeidungskosten der Energieerzeugung in einer 500-kW- Biogasanlage in Abhängigkeit vom Wirtschaftsdüngeranteil, des Wärmeabgabeanteils sowie mit und ohne Transport von Wirtschaftsdünger bei Silomais und Rindergülle als Substrate



Annahmen: 30 €/t Silomais; 10 km WD-(Wirtschaftsdünger-)Transport: Hin- und Rücktransport jeweils ohne Rückfracht
Quelle: eigene Darstellung und Berechnung auf Basis von IFEU (2008), VOGT (2008), KTBL (2008), KTBL (2009), BOKU WIEN (2008), MASCHINENRING ARTLAND (2009), BMLFUW (2009), REINHOLD (2005), KEYMER und SCHILCHER (2007)

2,6 % im Vergleich zu einer hofnahen energetischen Nutzung. Auf die Energiebilanz besitzen Transporte allerdings einen größeren Einfluss (Strichlinie). Ca. 15 % geringer fällt die Einsparung fossiler Energiemengen bei Transportentfernungen von 10 km aus.

Für die Flächenäquivalente der Wirtschaftsdüngernutzung werden in der Abbildung 2 Bandbreiten dargestellt, da bei der praktisch erreichbaren Einsparung fossiler Energie und THG vielfältige Konstellationen denkbar sind. Die in der Abbildung 2 ausgewiesenen jeweils maximalen Flächenäquivalente, je nach Anteil des genutzten Wirtschaftsdüngerpotenzials, ergeben sich aus der Annahme, dass im Rahmen der energetischen Nutzung beider Substrate neben einer gleichen Strommenge auch eine gleiche Wärmemenge an externe Nutzer zur Substitution fossiler Energie abgegeben wird. In diesem Fall ist insbesondere das Verhältnis der spezifischen THG-Einsparung, bezogen auf eine Energieeinheit zwischen der energetischen Nutzung von Wirtschaftsdünger und derjenigen von Silomais, vergleichsweise weit. Hinsichtlich der Nutzbarkeit von Wärme ist zu beachten, dass bei ausschließlicher Nutzung insbesondere flüssiger Wirtschaftsdünger kaum mit einer Wärmeabgabe an externe Abnehmer zu rechnen ist (vgl. auch Kapitel 2). Daher bilden sich die minimalen bzw. unteren Ackerflächenäquivalente in Abbildung 2 unter der Annahme einer 80 %igen Nutzung des nicht für den Prozess benötigten Wärmeanfalls bei Silomais und 0 % bei Wirtschaftsdünger. Die Darstellung zeigt damit die wahrscheinlich maximale Bandbreite möglicher Flächenäquivalente durch die energetische Wirtschaftsdüngernutzung auf.

Mit Blick auf die Einsparung von THG bleibt festzuhalten, dass Wirtschaftsdünger im Vergleich mit Anbaubiomasse ein erhebliches Potenzial besitzt. Die durch die Vermeidung von THG entstehenden Kosten zeigt Abbildung 3 für eine 500-kW-Biogasanlage. Angenommen wird ein ausschließlicher Einsatz von Silomais sowie Rindergülle. Dieser Wirtschaftsdünger steht stellvertretend für den in der Tierhaltung überwiegend anfallenden Flüssigmist und stellt die bislang überwiegend im Rahmen der Biogasproduktion eingesetzte Wirtschaftsdüngerart dar (vgl. ML NDS, 2009; FNR, 2009). Es wird deutlich, dass die THG-Vermeidungskosten mit steigendem Gülleanteil sinken.[12]

[12] Die spezifische THG-Vermeidung bezogen auf die erzeugte Energiemenge ist abhängig von der Art des Wirtschaftsdüngers. Bei Verwendung von bspw. Schweinegülle werden im Vergleich zur Rindergülle geringere THG-Emissionen aus der Lagerung vermieden (AMON und DÖHLER, 2009). Auch die Gaserträge spielen eine Rolle. Berechnungen auf Basis vom WISSENSCHAFTLICHEN BEIRAT (2007) sowie IFEU (2008) haben jedoch auch für Nutzung von Schweinegülle geringere THG-Vermeidungskosten ergeben als bei Nutzung von Silomais mit hoher Wärmenutzung. Festmist weist bezogen auf die erzeugte Energie im Vergleich zu Flüssigmist

Der Einfluss des zur Substitution fossiler Energie genutzten Wärmeüberschusses auf die THG-Vermeidungskosten ist dabei substratspezifisch. Bei Rindergülle sind, wie in Kapitel 2 erläutert, nur geringe Wärmemengen extern verfügbar. Weiterhin liegt die spezifische THG-Vermeidung bei Wirtschaftsdünger insgesamt auf einem höheren Niveau, sodass die durch eine Wärmenutzung induzierte zusätzliche THG-Vermeidung nur einen verhältnismäßig geringen Einfluss besitzt. Die THG-Vermeidungskosten von Biogas aus Silomais können sich durch eine Nutzung des Wärmeüberschusses hingegen erheblich reduzieren. Dies sollte bei einer Ausgestaltung von Fördermechanismen berücksichtigt werden.

Weiterhin zeigt Abbildung 3 den Einfluss von Wirtschaftsdüngertransporten. Bei der Annahme einer Entfernung in Höhe von 10 km zwischen Tierhaltung und Biogasanlage steigen die Vermeidungskosten bei einem reinen Wirtschaftsdüngereinsatz um ca. 60 %. Auch wenn sie damit noch unter den Kosten für die Vermeidung von THG durch die energetische Nutzung von Silomais liegen, sind somit die Transportentfernungen möglichst gering zu halten, damit der potenzielle Vorteil der Wirtschaftsdüngernutzung nicht aufgezehrt wird und noch Vorteile gegenüber anderen Pfaden der Erzeugung regenerativer Energien verbleiben (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT, 2007; FRITSCH, RAUSCH und SCHMIDT, 2007).

Bislang nicht quantifizierte Attribute der Wirtschaftsdüngernutzung

Transporte von Wirtschaftsdünger können einen negativen Einfluss auf die gesellschaftliche Akzeptanz für den Betrieb von Biogasanlagen ausüben (AGROPLAN, 2006: 60). Mit einem erhöhten Transportaufkommen können sich zudem die Kosten für Instandhaltung von Straßennetzen erhöhen (BMVBS, 2010). Auch die Wirkungen im Hinblick auf die Eutrophierung und Versauerung von Böden und Gewässern sind zu berücksichtigen. So weist die energetische Nutzung von Anbaubiomasse Nachteile im Vergleich zu Wirtschaftsdünger auf. Ihre energetische Nutzung in Biogasanlagen führt zu erhöhten Nährstoffeinträgen und zu einer Verschiebung des Säuregleichgewichts in Böden und Gewässern (JURY et al., 2010; IFEU, 2008; DBFZ, 2009: 214). Dagegen können die in diesem Zusammenhang bei der Lagerung und Ausbringung des Wirtschaftsdüngers entstehenden Umweltwirkungen verringert werden (RAMESOHL et al., 2006; IFEU, 2008). Mit Blick auf die Pflanzenernährung können weiterhin die Nährstoffverfügbarkeit bzw. die Geschwindigkeit der Nährstoffwirkung insbesondere von Stickstoff aus Wirtschaftsdünger-Gärresten im Vergleich zur Rohgülle erhöht sein. Ebenso steigt durch die Vergärung die Fließfähigkeit, wodurch die Infiltration in den Boden beschleunigt wird. Die Geruchsbelastung bei der Ausbringung sowie die Gefahr einer Verätzung des Pflanzenbestands verringern sich. Allerdings erhöht sich durch die Vergärung das Risiko von gasförmigen Ammoniakverlusten bei der Lagerung und Ausbringung, was den positiven Effekten entgegenstehen kann (DITTRICH, 2007; STAATLICHES UMWELTAMT MÜNSTER, 2007; LFL, 2006; WENDLAND, DITTMANN und GEIGER, 2007).

Insgesamt ist festzuhalten, dass die energetische Nutzung von Wirtschaftsdünger offenbar überwiegend positive Umweltwirkungen nach sich zieht und im Vergleich mit der Nutzung von Anbaubiomasse Vorteile aufweist. Vor diesem Hintergrund sollte aus volkswirtschaftlicher Sicht ein insgesamt hoher Nutzungsgrad von Wirtschaftsdünger für die Biogasproduktion gegenüber dem Ausbau der Nutzung von Energiepflanzen Vorrang haben. Die Zurückhaltung in der Praxis, im Durchschnitt mehr als 30-40 % Wirtschaftsdünger einzusetzen, zeigt jedoch, dass die betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen für weit höhere Einsatzmengen offenbar nicht optimal sind. Dies soll im Folgenden analysiert werden.

3.2 Betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngervergärung

Für die Rentabilität einer Biogasanlage haben die Substratkosten eine hohe Bedeutung. Die direkt mit dem Anbau bzw. Zukauf von NawaRo zusammenhängenden Kosten können mehr als 50 % der jährlichen Gesamtkosten aufweisen (FNR, 2009). Neben den direkten Kosten für die Substratbeschaffung sollen für den in Tabelle 4 aufgeführten Vergleich zwischen dem Einsatz von NawaRo und flüssigem Wirtschaftsdünger jedoch auch die sich mit den Substratanteilen verändernden Anlagenkosten berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 2). Diese Darstellung bietet zunächst den Vorteil, bereits bestehende Förderungen zu vernachlässigen und somit einen simultanen Vorzüglichkeitsvergleich von Anlagengrößen und Wirtschaftsdüngeranteilen vornehmen zu können.

eine geringere spezifische THG-Vermeidung als flüssige Wirtschaftsdünger auf (IFEU, 2008). Ein Grund hierfür liegt in der relativ geringen Emissionsvermeidung aus der Lagerung (DÖHLER et al., 2002: 151f.). Allerdings lassen sich mit Festmist höhere Mengen Energiepflanzen substituieren.

Tabelle 4. Stromgestehungskosten in Cent/kWh$_{el}$ in Abhängigkeit von der Anlagengröße sowie Art, Anteil und Bereitstellungskosten für Wirtschaftsdünger bei Silomais als Co-Substrat

Gülle von	Anlagen-Leistung [kW$_{el}$]	0 €/t Gülle					1 €/t Gülle					2 €/t Gülle				
		Anteil Gülle [% Frischmasse]														
		0	20	50	80	100	0	20	50	80	100	0	20	50	80	100
Rindern (8 % TS)	150	21,6	21,6	21,5	21,0	20,4	21,6	21,6	21,7	21,7	22,6	21,6	21,7	22,0	22,4	24,7
	250	19,9	19,8	19,6	19,4	18,8	19,9	19,9	19,8	20,0	20,9	19,9	19,9	20,0	20,7	22,9
	500	17,6	17,5	17,5	17,3	16,9	17,6	17,6	17,7	17,9	18,9	17,6	17,7	17,9	18,6	20,8
Schweinen (5 % TS)	150	21,6	21,6	21,7	21,8	24,1	21,6	21,7	22,0	22,6	27,0	21,6	21,8	22,2	23,4	29,8
	250	19,9	19,9	19,8	20,1	22,3	19,9	19,9	20,0	20,9	25,0	19,9	20,0	20,3	21,6	27,7
	500	17,6	17,6	17,7	18,0	20,4	17,6	17,7	17,9	18,7	23,0	17,6	17,7	18,2	19,5	25,6

Annahme: Bereitstellungs- und Verwertungskosten von Silomais betragen im Saldo 30 €/t
Quelle: eigene Darstellung und Berechnung gemäß ASUE (2005), DLG-ARBEITSGRUPPE BIOGAS (2006), THAYSEN, (2007), KTBL (2008), KTBL (2009)

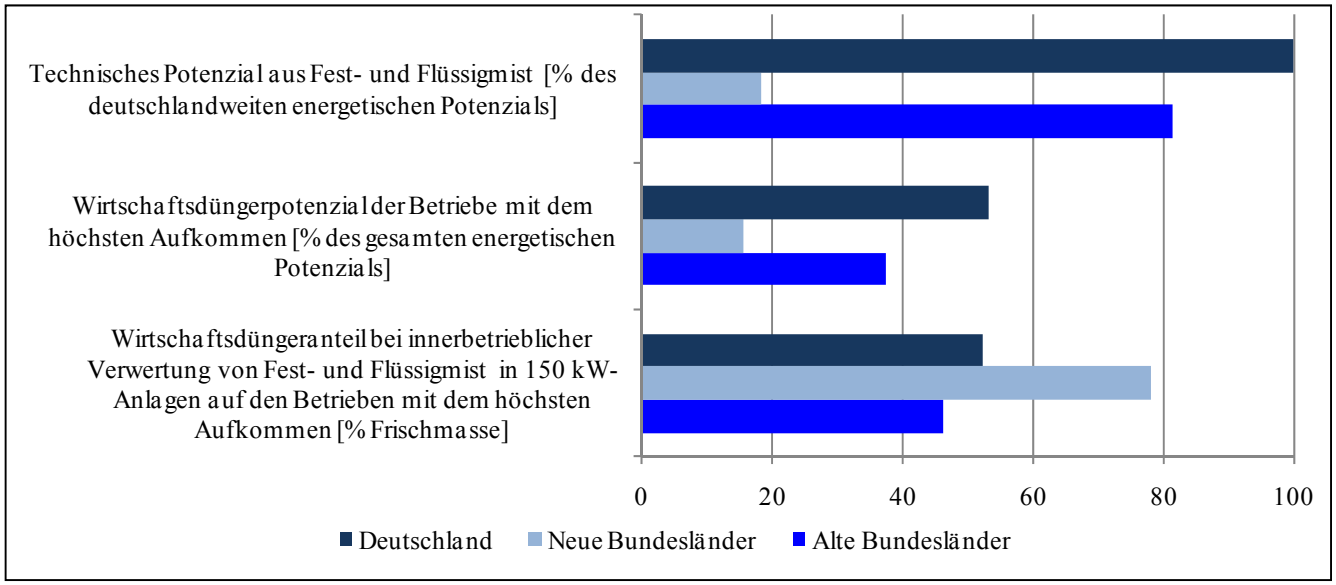
Gemäß Tabelle 4 nehmen die Stromgestehungskosten je kWh$_{el}$ für die Biogasproduktion mit steigender Anlagengröße ab. Durch eine Erhöhung des Einsatzes von Rindergülle können trotz des vergleichsweise geringen Methanertrags je Tonne Substrat die Stromgestehungskosten sinken. Damit wird auch deutlich, warum gerade in Ostdeutschland mit hohen einzelbetrieblichen eigenen Mengen Wirtschaftsdünger vereinzelt Anlagen mit hohen Gülleanteilen von 80-100 % betrieben werden. Sie sind in der Lage, selbst bei Anlagengrößen bis 500 kW mit hohen eigenen Gülleanteilen und einem Ansatz von 0 €/t Gülle geringere Stromgestehungskosten aufzuweisen als bei vergleichbaren hohen Anteilen von Silomais.[13] Mit fremder Gülle wäre diese Vorzüglichkeit vielfach nicht mehr gegeben. Steigen die Bereitstellungskosten für den Wirtschaftsdünger bspw. durch Transporte an, ist eine Erhöhung des Wirtschaftsdüngeranteils mit einer deutlichen Steigerung der Stromgestehungskosten verbunden. Dabei liegen die Transportkosten für Wirtschaftsdünger bei kurzen Entfernungen von ca. einem Kilometer unter äußerst günstigen Voraussetzungen bei etwa 1 €/m³ (KOWALEVSKY, 2007; MASCHINENRING ARTLAND, 2009; BOKU WIEN, 2008). Das Ergebnis hängt jedoch sehr stark von den Gaserträgen der eingesetzten Substrate ab. Wird bspw. Schweinegülle statt Rindergülle zusammen mit Silomais vergoren, steigen die Produktionskosten unter den getroffenen Annahmen auch ohne Transport mit dem Gülleanteil an.[14] Eine Verwertung produktionskostenfrei zur Verfügung stehender Gülle ist nach diesen Berechnungen aus Sicht der Stromgestehungskosten betriebswirtschaftlich also nur dann sinnvoller als die Verwertung von Anbaubiomasse, wenn aus der Gülle ein relativ hoher Gasertrag zu erwarten ist und für ihre Bereitstellung keine Kosten entstehen. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, dass überbetrieblich beschaffter Wirtschaftsdünger auch wieder pflanzenbaulich nach Maßgaben der guten fachlichen Praxis verwertet werden muss. In diesem Zusammenhang können im Vergleich zu einer Direktverbringung des tierhaltenden Betriebs auf dessen Flächen zusätzliche Transportkosten entstehen. Neben den Stromgestehungskosten ist weiterhin auch die Nutzbarkeit der erzeugten Wärme außerhalb der Biogasanlage im Rahmen eines Verkaufs an externe Abnehmer von Bedeutung. Da der Eigenwärmebedarf einer Biogasanlage tendenziell mit dem Gülleanteil ansteigt, können diesbezüglich bei der Nutzung von Energiepflanzen Erlösvorteile entstehen, die hier nicht quantifiziert sind.

Der Wirtschaftsdüngereinsatz kann auch weitere Einflüsse auf den Anlagenbetrieb ausüben. Im Vergleich zum ausschließlichen Einsatz von Energiepflanzen geht mit der Nutzung von Wirtschaftsdünger

[13] Weiterhin können insbesondere bei Nutzung betriebseigener Wirtschaftsnutzung und einer Errichtung und Inbetriebnahme vor 2009 vorhandene Güllelager genutzt werden. Die dadurch verringerten Herstellungskosten wirken sich auch auf die Stromgestehungskosten aus, so dass auch mit den damals geringeren Vergütungstarifen Anlagen errichtet wurden. Vgl. dazu auch WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT (2007), der für das Jahr 2007 signifikant geringere Stromgestehungskosten für „Gülleanlagen" aufzeigt, sofern u.a. bereits vorhandene Güllelagerkapazitäten genutzt werden können.

[14] Die jeweiligen frischmassebezogenen Gaserträge der betrachteten Substrate erhöhen sich tendenziell mit ihren Trockensubstanzgehalten. In der Praxis können die Gaserträge von den zugrundegelegten Richtwerten abweichen (vgl. AMON et al., 2007; BUGDAHL, 2008).

Abbildung 4. Technische Potenziale der landwirtschaftlichen Betriebe für eine energetische Wirtschaftsdüngernutzung in den neuen und alten Bundesländern Deutschlands



Quelle: eigene Darstellung gemäß STATISTIKAMT NORD (2009) auf Basis von DÖHLER et al. (2002), KTBL (2006), KTBL (2007a), KTBL (2007b), LFL (2008), LFL (2009)

ein vermindertes Risiko in Bezug auf den Biogasprozess einher. Die Verwendung flüssiger Wirtschaftsdünger als Substrat steigert die Rührfähigkeit des Fermenterinhalts. Seine vergleichsweise hohe Pufferkapazität trägt zur Stabilität des Fermentationsprozesses bei.[15] Weiterhin kann durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger eine im Vergleich zum Bedarf der Fermenterbakterien wenig ausgewogene Nährstoffzusammensetzung von Energiepflanzen ausgeglichen werden. Um diese Effekte zu erzielen, können bereits geringe Anteile in Höhe von 5 % an der Substratmischung ausreichen (MÄHNERT, 2007; FNR, 2009; KISSEL et al., 2009). In Bezug auf Festmist und Hühnertrockenkot, die höhere Gaserträge ausweisen als Flüssigmist und somit auch für Biogasanlagen einen höheren energetischen Wert besitzen, beschränken technische Hemmnisse die maximalen Einsatzanteile vielfach auf ca. 30 % der eingesetzten Frischmasse (IFEU, 2008). Schließlich sind auch aus einzelbetrieblicher Sicht die im Zusammenhang mit den volkswirtschaftlichen Effekten beschriebenen möglichen Vorteile durch die Fermentation hinsichtlich der pflanzenbaulichen Verwertung der im Wirtschaftsdünger enthaltenden Nährstoffe ins Kalkül zu ziehen.

Insgesamt besteht somit ein Anreiz, zumindest geringe Mengen Wirtschaftsdünger einzusetzen. Der Einsatz betrieblicher bzw. in direkter Nähe zur Biogasanlage anfallender Wirtschaftsdünger kann je nach generierbaren Gaserträgen rentabler sein als der Energiepflanzeneinsatz. Rindergülle und Wirtschaftsdünger mit hohen Trockensubstanzgehalten sind hier im Vorteil. Vielfach reichen die einzelbetrieblichen Mengen jedoch nicht aus, um damit Anlagen in derzeit überwiegend installierten Leistungsklassen zwischen 150 und 500 kW (STINNER und SCHOLWIN, 2010) zu hohen Anteilen mit Wirtschaftsdünger zu versorgen. Dies gilt insbesondere für die Betriebsstrukturen der alten Bundesländer. Abbildung 4 zeigt, dass sich das technische energetische Wirtschaftsdüngerpotenzial in Deutschland zu mehr als 80 % auf die alten Bundesländer konzentriert. Etwas mehr als die Hälfte des gesamten technischen Potenzials in Deutschland fällt in Betrieben an, die eine Biogasanlage mit einer Leistung von 150 kW von mindestens 35 % an der gesamten Frischmasse mit innerbetrieblichem Wirtschaftsdünger versorgen könnten („höchstes Aufkommen“ gemäß Abbildung 4), wobei Silomais als einziges Co-Substrat angenommen wird.[16] Ca. 86 % des Potenzials in den neuen Bundesländern fällt darunter, jedoch nur etwa 46 % des Potenzials in den alten Bundesländern.

[15] Einstufige Systeme ohne Gülle und hohem Eiweißinput, z.B. bei hohen Anteilen Getreide, Grassilage und/oder Kleegras am Substratinput, sind besonders betroffen von Prozessstörungen, da nicht auf Rezirkulat nachgeschalteter Prozessstufen zur Stabilisierung zurückgegriffen werden kann (KISSEL et al., 2009).

[16] Die Ermittlung dieses Potenzialanteils erfolgte vor dem Hintergrund der Ausgestaltung des EEG (2009) in Deutschland (vgl. Kapitel 4).

Bei einer ausschließlich innerbetrieblichen Verwertung des Wirtschaftsdüngers in 150-kW-Anlagen in Betrieben mit entsprechend ausreichend eigenem Wirtschaftsdünger würde der Anteil von Fest- und Flüssigmist an der Substratmischung durchschnittlich ca. 78 % in den neuen und nur ca. 46 % in den alten Bundesländern betragen.[17]

Die Nutzung von Wirtschaftsdünger ist somit vielfach an den zusätzlichen Einsatz anderer Substrate gebunden, da ein Transport dieses Reststoffs zur Biogasproduktion aus Sicht der Stromgestehungskosten i. d. R. nicht wirtschaftlich ist. Aus dieser Perspektive besteht zudem ein Anreiz, Anlagen mit höherer Leistung als 150 kW zu installieren. Daher sind die in der Praxis realisierten Wirtschaftsdüngeranteile an den eingesetzten Substraten vielfach auch geringer als sie gemäß Abbildung 4 ausgewiesen werden. Die betriebswirtschaftlichen Voraussetzungen führen somit insbesondere in den alten Bundesländern nicht dazu, dass der volkswirtschaftlich sinnvollere Einsatz des Reststoffs Wirtschaftsdünger unabhängig vom Einsatz sonstiger Substrate in einem höheren Ausmaß erfolgt. Eine explizite Förderung des Gülleeinsatzes im Kontext eines politisch gewünschten Ausbaus der Biogasproduktion erscheint vor diesem Hintergrund sinnvoll. Die mit dem EEG 2012 aufgenommene Förderschiene für Anlagen bis zu 75 kW mit vorwiegendem Einsatz von Wirtschaftsdünger kann vor dem Hintergrund der zuvor genannten Aspekte eingeordnet werden. Die mit dem EEG 2012 gleichzeitig vorgenommene Entkopplung der Förderung des Wirtschaftsdüngereinsatzes von anderen Substraten wird durch die nachfolgenden Darstellungen der Wirkung des bislang noch maßgeblichen Güllebonus im Zusammenhang mit dem EEG 2009 deutlich.

4 Aktueller Fördermechanismus im EEG 2009 in Deutschland

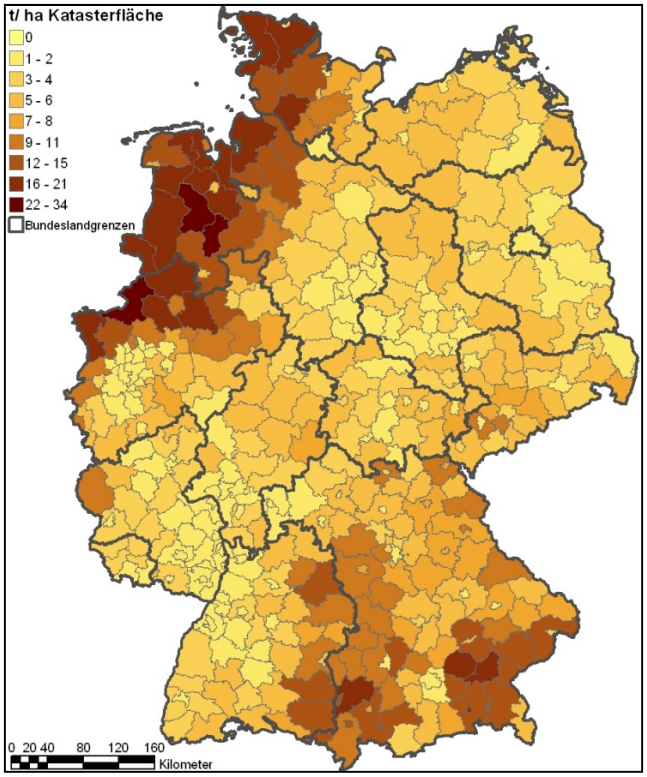
In Deutschland wurde mit der Novellierung des EEG, die am 1. Januar 2009 in Kraft trat, der sogenannte Güllebonus eingeführt. Mit ihm wird für den gesamten erzeugten Strom einer Anlage ein Aufschlag auf den Bonus für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe (NawaRo) gewährt, sofern der Anteil Wirtschaftsdünger mindestens 30 % an der insgesamt eingesetzten Frischmasse in einer Biogasanlage beträgt. Der Güllebonus erhöht die Vergütung aus Strom um 4 Cent/kWh bis zu einer Leistung von 150 kW und um 1 Cent/kWh im Leistungsbereich zwischen 150 und 500 kW. Durch ihn kann der Umsatz einer Anlage um bis zu 20 % steigen, sodass für die Biogasanlagenbetreiber ein erheblicher Anreiz besteht, entsprechende Wirtschaftsdüngermengen einzusetzen (vgl. RAUH, 2010). Darüber hinaus gelten jedoch die im Zusammenhang mit der Tabelle 4 beschriebenen Mechanismen. Entstehen für die Bereitstellung von Wirtschaftsdünger Kosten, neigt ein Anlagenbetreiber aus Rentabilitätsgesichtspunkten eher dazu, Silomais einzusetzen. Die im Rahmen des Biogasmessprogramms II untersuchten 61 NawaRo-Biogasanlagen (vgl. FNR, 2009) setzen bspw. im Durchschnitt lediglich 37 Masseprozent Wirtschaftsdünger ein. Somit verbleibt trotz Einsatz von Wirtschaftsdünger ein hoher Energiepflanzen- bzw. Flächenbedarf für diese Anlagen. Damit kann gerade in Regionen mit hohen Methanpotenzialen aus Wirtschaftsdünger aber gleichzeitig gering verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzflächen für die Bioenergieproduktion ein Problem entstehen, das im Folgenden erläutert wird. Abbildung 5 zeigt die Regionen Deutschlands auf, in denen sich das Wirtschaftsdüngeraufkommen konzentriert. Dies sind insbesondere der Norden, Nordwesten sowie der Süden bzw. Südosten Deutschlands. Aus der Perspektive der Transportkosten für Wirtschaftsdünger zum Einsatz in Biogasanlagen weist diese Konzentration Vorteile auf. Allerdings werden auch die Nachteile dieser Konzentration in Anbetracht der gegenwärtigen Förderbedingungen deutlich.

Eine gesamte Nutzung des technischen Wirtschaftsdüngerpotenzials in Biogasanlagen mit 35 % Wirtschaftsdüngeranteil[18] würde bei ansonsten ausschließlichem Einsatz von Energiepflanzen in vielen Landkreisen Deutschland einen Anteil von mehr als 50 % der verfügbaren Ackerfläche beanspruchen, um den entsprechenden NawaRo-Bedarf zu decken. Allerdings wäre diese Annahme der Vergärung des gesamten technischen Potenzials aus wirtschaftlicher Sicht wenig realistisch.

[17] Zu beachten ist an dieser Stelle, dass aufgrund der geringeren durchschnittlichen Gaserträge der Wirtschaftsdünger im Vergleich zu Silomais der Anteil der erzeugten Energie aus dem Wirtschaftsdünger geringer ist als der Masseanteil dieses Substrates. Daher kann aus diesem Ergebnis auch nicht geschlossen werden, dass die betrachteten Betriebe durchschnittlich bspw. eine 75-kW-Anlage zu etwa 100 % mit Wirtschaftsdünger versorgen können.

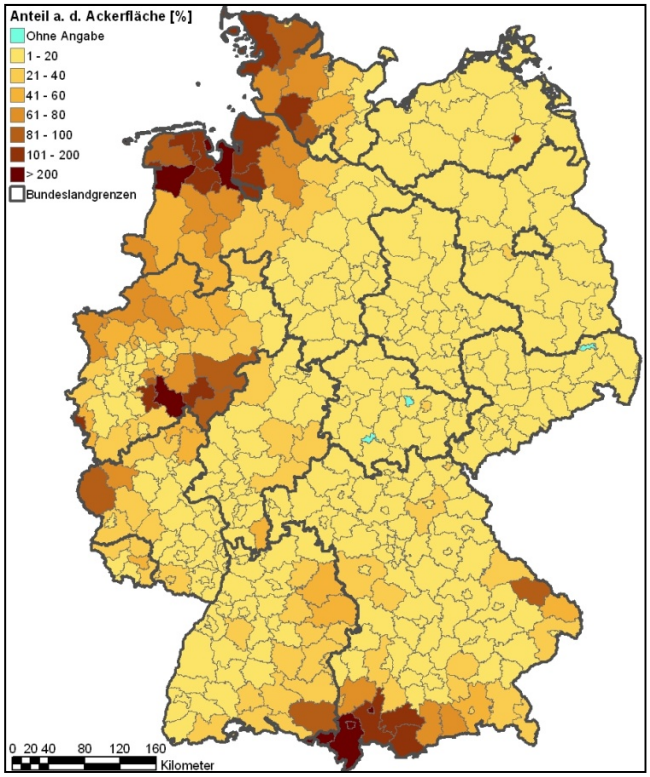
[18] Da die 30 % Wirtschaftsdüngeranteil jederzeit eingehalten werden müssen, damit Anspruch auf den Güllebonus besteht, wird eine zusätzliche Puffermenge in Höhe von 5 Prozentpunkten angesetzt.

Abbildung 5. Jährlicher Wirtschaftsdüngeranfall in t/ha in den Landkreisen Deutschlands



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung gemäß STATISTIKAMT NORD (2009) auf Basis von DÖHLER et al. (2002), KTBL (2006), KTBL (2007b), LFL (2008); GEOBASISINFORMATION © BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (2007)

Abbildung 6. Erforderliche Ackerflächen in % der regional verfügbaren Ackerflächen bei Vergärung betriebseigenen Wirtschaftsdüngers mit mehr als 35 % Masseanteil für Biogasanlagen mit einer Mindestgröße von 150 kW



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung gemäß STATISTIKAMT NORD (2009) auf Basis von DÖHLER et al. (2002), KTBL (2006), KTBL (2007a), KTBL (2007b), LFL (2008), LFL (2009); GEOBASISINFORMATION © BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (2007)

Aufgrund der erheblichen Kostendegression mit steigender Anlagengröße (vgl. KTBL, 2009; Tabelle 4) sowie der maximalen Vergütung bis zu dieser Leistung erscheinen Anlagengrößen ab 150 kW betriebswirtschaftlich besonders interessant. Die noch bis zum 31.12.2011 geltenden Förderbedingungen motivieren bzw. motivierten dabei speziell Vieh haltende Betriebe für den Bau einer Biogasanlage, die entsprechende Anlagengrößen mit betriebseigenem Wirtschaftsdünger, d. h. ohne Wirtschaftsdüngertransporte, mit mindestens 35 % Wirtschaftsdünger versorgen können. Insbesondere sie können im Rahmen der Biogasproduktion hohe Grundrenten erzielen (vgl. RAUH, 2010). Würden diese Vieh haltenden Betriebe ihren gesamten Wirtschaftsdünger in jeweils einer eigenen 150-kW-Anlage vergären, ergibt sich bei Silomais als einzigem Co-Substrat ein Ackerflächenbedarf gemäß Abbildung 6. In den meisten Regionen Deutschlands wären dann „nur“ bis zu 20 % der Ackerfläche erforderlich, um den betrieblichen Wirtschaftsdünger für die Biogasproduktion nutzen zu können. Allerdings werden anhand der Abbildung 6 gleichermaßen die Problemregionen der gegenwärtigen Förderbedingungen deutlich.

In den dunkler gefärbten Regionen Deutschlands müssten 60 % bis mehr als 200 % der eigentlich verfügbaren Ackerfläche genutzt werden, um den Wirtschaftsdünger unter den gegebenen Annahmen zu nutzen. Selbst wenn ein signifikanter Anteil Biomasse von Grünland für die Biogasproduktion eingesetzt werden, ändert sich wenig an der Grundkonstellation gemäß Abbildung 6. Bei den betroffenen Regionen handelt es sich üblicherweise um die Veredlungsregionen (Nordwestdeutschland) oder um Dauergrünlandregionen mit einem hohen Anteil an Milchproduktion (Nord- und Teile Süd- sowie Westdeutschlands). Ge-

nau an diesen Stellen werden die wirtschaftlichen Probleme des EEG 2009 deutlich. Während in der Veredlungsregion Nordwestdeutschlands die Zahlungsbereitschaften für die Bodennutzung auch in der Vergangenheit bereits ein sehr hohes Niveau erreicht haben, sind z.B. auch in den typischen Milchproduktionsregionen Norddeutschlands signifikant erhöhte Zahlungsbereitschaften infolge des regionalen Ausbaus der Biogasproduktion erkennbar (THEUVSEN, PLUMEYER und EMMANN, 2010). Die Situation wird besonders verschärft in Regionen mit hohen Dauergrünlandanteilen. Wenn einerseits der Mais hohe betriebswirtschaftliche Vorteile auch in bzw. für Gülleanlagen entfaltet (vgl. KEYMER und PAHL, 2009; RAUH, 2010), Ackerland jedoch knapp ist, wird besonders für Ackerland in diesen Regionen ein hoher Pachtpreis gezahlt bzw. es steigt die betriebswirtschaftliche Motivation, Grünland umzubrechen, soweit dies im Rahmen der Cross-Compliance-Regelungen bzw. des Direktzahlungen-Verpflichtungengesetzes (§ 3) möglich ist. Für die Veredlungsregionen entsteht mit diesen Förderbedingungen ein weiteres Problem. Der Anbau und die Nutzung von Energiepflanzen für die Biogasproduktion stellen einen weitestgehend geschlossenen Nährstoffkreislauf dar (vgl. BRAUCKMANN et al., 2007). Er steht somit hinsichtlich der Nährstoffverwertung in Konkurrenz mit dem Wirtschaftsdünger, sodass in Regionen mit hohem Wirtschaftsdüngeraufkommen nur ein relativ geringes Flächenpotenzial für die Biogasproduktion besteht. D.h., die durch den Güllebonus vielfach entstehende hohe Zahlungsbereitschaft für Anbaubiomasse führt zu einer wachsenden Konkurrenz zwischen Biogasproduktion und der Tierhaltung. Insbesondere für Betriebe in Regionen mit hoher Viehdichte, aber auch bspw. für Milchviehhalter in Grünlandregionen mit geringen Ackeranteilen, ist die Ausgestaltung des EEG 2009 daher problembehaftet. Selbst überdurchschnittlich erfolgreiche Milchproduzenten (ohne rentable Biogasproduktion) könnten durch stark geförderte Biogasanlagenbetreiber aus dem Bodenmarkt gedrängt werden. Wettbewerbsvorteile einzelner Produktionsrichtungen werden damit in Frage gestellt, sofern nicht parallel eine rentable Biogasanlage betrieben wird. Dies kann auch Konsequenzen auf vor- und nachgelagerte Bereiche der landwirtschaftlichen Primärproduktion haben und bspw. zu einer Reduktion von Nettobeschäftigung und Wertschöpfung im ländlichen Raum führen (HEIßENHUBER, DEMMLER und RAUH, 2008; RAUH und HEIßENHUBER, 2009). Vor diesem Hintergrund ist über alternative Fördermechanismen für den Wirtschaftsdüngereinsatz in weiterführenden Studien nachzudenken, zumal gegenwärtig eine hohe Ausnutzung des vorhandenen Reststoffpotenzials aus Wirtschaftsdünger gerade in den Regionen verhindert wird, in denen ein hohes Potenzial zur energetischen Nutzung besteht. Schätzungen für 2008 gehen davon aus, dass von dem in Deutschland verfügbaren Wirtschaftsdünger etwa 15 % des Gesamtpotenzials energetisch genutzt wurden (IFEU, 2008). Mit dem Güllebonus des EEG ist zu erwarten, dass der Gülleanteil signifikant angestiegen ist, jedoch nicht ein eigentlich wünschenswertes Maß erreicht. Eine veränderte Förderung sollte somit das politische Ziel einer hohen Reststoffnutzung bei gleichzeitig verringerten Auswirkungen auf den Bodenmarkt berücksichtigen. Das EEG 2012 ist zumindest teilweise dieser Direktive gefolgt.

5 Schlussbemerkungen

Die energetische Nutzung von Wirtschaftsdünger im Rahmen der Biogasproduktion weist im Vergleich mit dem Energiepflanzeneinsatz ein hohes Potenzial insbesondere zur Einsparung von THG, aber auch von fossilen Energieträgern auf. Die dabei entstehenden THG-Vermeidungskosten bleiben vergleichsweise niedrig, wenn Transporte von Wirtschaftsdüngern in moderatem Umfang stattfinden. Aus Sicht der Stromgestehungskosten ist jedoch selbst ohne Wirtschaftsdüngertransporte der Einsatz von Gülle gegenüber Silomais vielfach nicht wettbewerbsfähig. Dies scheint eine bedeutende Ursache für den geringen Ausbau der Nutzung produktionskostenfrei zur Verfügung stehender Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen zu sein. Wirtschaftsdüngertransporte sind jedoch erforderlich, wenn die vorhandenen Potenziale in hohem Maße ausgeschöpft werden sollen. Es bedarf somit einer Förderung der überbetrieblichen Wirtschaftsdüngernutzung, aber möglicherweise auch sehr hoher Mengenanteile Wirtschaftsdünger im Fermenter. Der in Deutschland mit dem EEG 2009 eingeführte Güllebonus ist bzw. war vor diesem Hintergrund der falsche Mechanismus. Durch ihn kann eine hohe Ausschöpfung des vorhandenen Wirtschaftsdüngerpotenzials kaum erreicht werden. Gleichzeitig besteht mit der Förderung gemäß EEG 2009 jedoch die Gefahr erheblicher Auswirkungen auf Bodenmärkte und die Food-Wertschöpfungsketten. Aufgrund der gezeigten Förderwürdigkeit des Wirtschaftsdüngereinsatzes sind somit alternative Fördermechanismen sinnvoll, bei der eine stärkere Zielorientierung sichtbar wird sowie

unerwünschte Nebeneffekte minimiert werden. Die mit dem EEG 2012 beschlossene Entkopplung der Förderung des Wirtschaftsdüngereinsatzes von der Förderung anderer Substrate ist somit grundsätzlich sinnvoll. Mit der Einführung explizit geförderter „Wirtschaftsdüngeranlagen“ bis 75 kW wird einigen der zuvor genannten Aspekten Rechnung getragen. Allerdings haben die aufgezeigten Modellkalkulationen auch gezeigt, dass dieses Anlagensegment vergleichsweise hohe Herstellungskosten pro kW und damit auch vergleichsweise hohe Energiegestehungskosten bzw. TG-Vermeidungskosten aufweisen können. Dies hängt jedoch sehr stark vom Einzelfall ab. Alternativ wären auch andere Fördermechanismen denkbar gewesen. Diskutabel ist z.B. eine Förderung, bei der ggf. ohne fixe Mindestgrenzen mit steigendem Wirtschaftsdüngeranteil auch die Vergütung des erzeugten Stroms steigt. Weiterhin kann eine direkte Förderung je Gewichtseinheit für eingebrachte Wirtschaftsdünger in Betracht gezogen werden. Bei beiden Optionen wäre ein linearer Förderbetrag ebenso in Erwägung zu ziehen wie ein progressiv ansteigender Förderbetrag je eingebrachter Gewichtseinheit Wirtschaftsdünger. Bei diesen Analysen wären jeweils die Vor- und Nachteile im Kontext der wirtschaftlichen Anreize für die an der Biogasproduktion Beteiligten sowie dazugehöriger Mitnahmeeffekte, die administrative Umsetzbarkeit, die rechtliche Angemessenheit sowie sonstige positive und negative Externalitäten einzelner Förderoptionen miteinander abzuwägen, um die beste Förderoption zu ermitteln (vgl. dazu auch THIERING et al., 2011). Bei jeder dieser Förderungen ist jedoch darauf zu achten, ob und inwieweit ein verstärkter Gülletourismus induziert wird, der gesellschaftlich vielfach als nicht opportun angesehen wird, wenngleich Transporte einzelner Wirtschaftsdüngerarten über vergleichsweise lange Wegstrecken ökologisch z. T. akzeptabel sein könnten. Insofern wird die Entscheidung zum EEG 2012 nachvollziehbar, Anlagen mit vorwiegendem Einsatz von Wirtschaftsdünger lediglich bis zur Größenordnung von 75 kW überdurchschnittlich zu fördern. In diesem Zusammenhang ist zukünftig für Bauherren größerer Stallneubauprojekte in Erwägung zu ziehen, gleichzeitig eine Biogasanlage mit vorwiegendem Wirtschaftsdüngereinsatz zu planen. Das EEG 2012 bietet dafür eine adäquate Grundlage, wenngleich die zusätzliche Finanzierung ein Hindernis darstellen könnte. Damit könnte jedoch ein auch aus gesellschaftspolitischer Perspektive wünschenswerter erhöhter Wirtschaftsdüngereinsatz für die Bioenergieproduktion mit wirtschaftlichen und ökologischen Synergien gewährleistet werden.

Literatur

AGROPLAN (2006): Bioenergie und Biogasförderung nach dem neuen EEG und ihre Auswirkungen auf Natur und Landschaft. FNR FKZ 22011704, Wolfenbüttel.

AMON, T., B. AMON, V. KRYVORUCHKO, W. ZOLLITSCH, K. MAYER und L. GRUBER (2007): Biogas production from maize and dairy cattle manure – Influence of biomass composition on the methane yield. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 118 (1-4): 173-182.

AMON, T. und H. DÖHLER (2009): Qualität und Verwertung des Gärrestes. In: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. 4. unveränderte Auflage: 153-165. Gülzow.

ASUE (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.) (Hrsg.) (2005): BHKW-Kenndaten 2005 – Module, Anbieter, Kosten. Kaiserslautern.

BIMSCHV (2009): Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Art. 1 d.V zur Neufassung und Änderung von Verordnungen zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes) (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV). Stand: Neugefasst durch Bek. v. 14.3.1997 I 504, zuletzt geändert durch Art. 13 G v. 11.8.2009 I 2723.

BMELV (Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) und BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2009): Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland – Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung. Berlin.

BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (2009): Emissionsfaktoren zu CO2-Emissionen im Personen- und Gütertransport. URL: http://www.umweltnet.at/filemanager/download/36498/, Abruf: 22.10.2009.

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (2010): LWK-Maut: innovativ, ökologisch und gerecht. URL: http://www.bmvbs.de/Verkehr/Gueterverkehr-Logistik/Lkw-Maut-,1436.7443/Lkw-Maut-innovativ_-oekologisc.htm, Abruf: 28.03.2010.

BOKU (Universität für Bodenkultur) WIEN (2008): Optimierung der Beschaffungs- und Distributionslogistik bei großen Biogasanlagen. Endbericht für das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Projektnummer 810695/8539. Wien.

BRAUCKMANN, H.-J., G. BROLL, B. SCHOMACKER, B. STANIA und S. WARNECKE (2007): Nährstoffstromanalyse einer Biogasanlage mit Gärrestaufbereitung im Landkreis Vechta. Mitteilung Nr. 65 des Instituts für Strukturforschung und Planung in agrarischen Intensivgebieten (ISPA), Vechta.

BUGDAHL, B. (2008): Was ist Gülle wert? In: Land & Forst 49: 42f.

DBFZ (Deutsches BiomasseForschungsZentrum) (Hrsg.) (2009): Identifizierung strategischer Hemmnisse und

Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der energetischen Biomassenutzung. 1. Zwischenbericht, FKZ 0327635. Leipzig.

DITTRICH, B. (2007): Nährstoffgehalte ausgewählter organischer Dünger. URL: http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/download/200702_5_Duengungstagung_Dittrich.pdf, Abruf: 24.03.2010.

DLG-ARBEITSGRUPPE BIOGAS (2006): Betriebszweigabrechnung für Biogasanlagen: Einheitliche Abrechnung und Erfolgskennzahlen für Biogasanlagen aller Rechtsformen. In: Arbeiten der DLG 200. Frankfurt a.M.

DÖHLER, H., B. EURICH-MENDEN, U. DÄMMGEN, B. OSTERBURG, M. LÜTTICH, A. BERGSCHMIDT, W. BERG und R. BRUNSCH (2002): BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahre 2010. Forschungsbericht 299 422 45/02, UBA-FB 000249, Berlin.

DÜV (Düngerverordnung) (2009): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV). Stand: Neugefasst durch Bek. v. 27.2.2007 I 221, zuletzt geändert durch Art. 18 G v. 31.7.2009 I 2585.

EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) (2009): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG). Stand: 25.09.2008 I 2074, zuletzt geändert durch Art. 12 G v. 22.12.2009 I 3950.

EUROPÄISCHE UNION (2009): Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.04.2009. Brüssel.

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) (Hrsg.) (2009): Biogasmessprogramm II – 61 Biogasanlagen im Vergleich. Gülzow.

FRITSCH, U., L. RAUSCH und K. SCHMIDT (2007): Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung. Arbeitspapier. Öko-Institut e.V., Darmstadt.

GEOBASISINFORMATION © BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (2007): VG 250 – Verwaltungsgrenzen (Ebenen) 1:250.000. Nordrhein-Westfalen, Stand: 31.12.2005.

HEIßENHUBER, A., M. DEMMELER und S. RAUH (2008): Auswirkungen der Konkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Bioenergieproduktion auf Landwirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 17 (2): 23-31.

IFEU (& Partner) (2008): Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. FKZ (BMU) 0327544, Heidelberg u.a.

JURY, C., E. BENETTO, D. KOSTER, B. SCHMITT und J. WELFRING (2010): Life Cycle Assessment of biogas production by monofermentation of energy crops and injection into the natural gas grid. In: Biomass and Bioenergie 34: 54-66.

KALTSCHMITT, M., D. MERTEN, N. FRÖHLICH und M. NILL (2003): Energiegewinnung aus Biomasse. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 „Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit“, Berlin/ Heidelberg.

KEYMER, U. und H. PAHL (2009): Was dürfen Substrate – frei Eintrag – kosten? In: Biogas Forum Bayern V, 6/2009, Freising.

KEYMER, U. und A. SCHILCHER (2007): Projektbeurteilung und Wirtschaftsanalyse. In: Biogashandbuch Bayern – Materialband, Kap. 1.7, Stand Mai 2007. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) (Hrsg.), München.

KISSEL, R., H. BACHMAIER, M. EFFENBERGER und A. GRONAUER (2009): Auslastungsgrade und Ursachen für Ertragseinbußen an Biogasanlagen unterschiedlicher Konzeptionierung. In: Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009. Bd. 1. Freising-Weihenstephan: 227-236.

KOWALEWSKY, H.-H. (2007): Gärrestausbringung: Ein dicker Brocken. In: Joule 1/2007: 38-41.

KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (2006): Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/07. 20. Auflage. Darmstadt.

– (2007a): Faustzahlen Biogas. Darmstadt.

– (2007b): Die neue Düngeverordnung. KTBL-Heft 64. Darmstadt.

– (2008): Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09. 21. Auflage. Darmstadt.

– (2009): Faustzahlen Biogas. 2. Auflage. Darmstadt.

LFL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (Hrsg.) (2006): Biogastechnologie zur umweltverträglichen Flüssigmistverwertung und Energiegewinnung in Wasserschutzgebieten. In: Schriftenreihe der LFL 23. Freising.

– (2008): Basisdaten – für die Ermittlung des Düngebedarfs – für die Umsetzung der Düngeverordnung. Stand: Juli 2008. Freising.

– (2009): Biogasausbeuten verschiedener Substrate. URL: http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/?sel_list=51%2Cl&strsearch=&pos=left, Abruf: 28.01.2009.

MASCHINENRING ARTLAND (2009): Arbeits- und Maschinenpreise bei kompletter Ausführung. Bersenbrück.

MÄHNERT, P. (2007): Kinetik der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen und Gülle. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin.

ML NDS (Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung) (Hrsg.) (2009): Stand und Perspektiven der Biogasnutzung in Niedersachsen. Hannover.

ÖKO-INSTITUT (Institut für angewandte Ökologie) (2008): GEMIS - Version 4.5. URL: http://www.gemis.de, Abruf: 15.06.2009.

OSTERBURG, B., H. NIEBERG, S. RÜTER, F. ISERMEYER, H.-D. HAENEL, J. HAHNE, J.-G. KRENDLER, H.M. PAULSEN, F. SCHUCHARDT, J. SCHWEINLE und P. WEILAND (2009): Erfassung, Bewertung und Minderung von Treibhausgasemissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors – Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. In: Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie 03/2009. Braunschweig, Hamburg und Trenthorst.

O. V. (2010a): Persönliche Mitteilung der Fa. WELtec BioPower® GmbH. Telefonat am 16.08.2010.

– (2010b): Persönliche Mitteilung der Fa. MT-Energie GmbH & Co. KG. Email vom 16.08.2010.

RAMESOHL, S., K. ARNOLD, M. KALTSCHMITT, F. SCHOLWIN, F. HOFMANN, A. PLÄTTNER, M. KALIES, S. LULIES, G. SCHRÖDER, W. ALTHAUS, W. URBAN und F. BURMEISTER (2006): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung i.A. des BGW (Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft) und DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Endbericht, Bd. 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen. Wuppertal, Leipzig, Oberhausen, Essen.

RAUH, S. und A. HEIßENHUBER (2009): Nahrung vs. Energie – Analyse der Konkurrenzbeziehungen. In: Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. 44: 409-422. Bonn.

RAUH, S. (2010): Auswirkungen der Novellierung des EEG auf die Wettbewerbskraft der Biogasproduktion. In: Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. 45: 51-62. Bonn..

REINHOLD, G. (2005): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Biogas bei Einsatz von Ko-Substraten. 1. Auflage. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Jena.

REINHOLD, G. (2009): Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte eines verstärkten Gülleeinsatzes. Vortrag im Rahmen der Gemeinschaftsveranstaltung „Biogas-Schwerpunkt: Aktuelle Rahmenbedingungen“ am 26.03.2009, Bernburg-Strenzfeld.

SCHULZE, V. (2010): Perspektiven nach dem EEG 2009. Vortag auf der wetreu-Vortragsveranstaltung, 24. Februar 2010, Möllin.

STAATLICHES UMWELTAMT MÜNSTER (2005): Gewässerbelastung durch Stickstoffeinträge im Münsterland. Münster.

STATISTIKAMT NORD (2009): Statistische Mikrodaten aus der Agrarstrukturerhebung 2007. Kiel.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2010): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Wachstum und Ernte Feldfrüchte 2009. Fachserie 3 Reihe 3.2.1. Wiesbaden.

STINNER, W. und F. SCHOLWIN (2010): Biogas – Chancen und Risken. Vortrag auf der NRW-Biogastagung 2010: Vielfältig – Regional – Zukunftsfähig, Bad Sassendorf.

THAYSEN, J. (2007): Eine hohe Bauqualität zahlt sich aus. In: Neue Landwirtschaft 2/2010: 28-30.

THEUVSEN, L, C.-H. PLUMEYER und C. EMMANN (2010): Einfluss der Biogasproduktion auf den Landpachtmarkt in Niedersachsen. Zwischenbericht für das Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung, Hannover.

THIERING, J. und E. BAHRS (2010): Umwelt- und Förderefekte des EEG – eine Betrachtung des Güllebonus im Rahmen der Biogasproduktion. In: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht 1/2010: 109-131.

THIERING, J., J.-B. EMPL und E. BAHRS (2011): Optionen der Förderung für eine energetische Wirtschaftsdüngernutzung im Rahmen der Biogasproduktion. In: ZFU (Zeitschrift für Umweltrecht und Umweltpolitik) 1/2011: 73-100.

VOGT, R. (2008): Basisdaten zu THG-Bilanzen für Biogas-Prozessketten und Erstellung neuer THG-Bilanzen – Kurzdokumentation im Auftrag der E.ON Ruhrgas AG, Altenessen. Heidelberg.

WENDLAND, M., T. DITTMANN und H. GEIGER (2007): Einsatz als Dünger und Inverkehrbringen der Biogasrückstände. In: Bayrische Landesanstalt für Umwelt (Hrsg.): Biogashandbuch Bayern – Materialband. Kap. 2.2.7, Stand: August 2007.

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT (Agrarpolitik beim BMELV) (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik. Berlin.

Kontaktautor:
DR. JOCHEN THIERING
Universität Hohenheim
Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre
Schloß, Osthof-Süd, 70599 Stuttgart
E-Mail: i410B@uni-hohenheim.de