

Working Papers

Kiel Institute
for the World Economy



Ökonomische Bewertung des Erneuerbare Energien Gesetzes zur Förderung von Biogas

von Ruth Delzeit, Karin Holm-Müller, Wolfgang
Britz

No. 1682 | Februar 2011

Kiel Working Paper No. 1682 | Februar 2011

Ökonomische Bewertung des Erneuerbare Energien Gesetzes zur Förderung von Biogas*

Ruth Delzeit, Karin Holm-Müller, Wolfgang Britz

Abstract: The Renewable-Energy-Source-Act (EEG) promotes German biogas production in order to substitute fossil fuels, protect the environment and prevent climate change. In this paper we quantitatively analyse the EEG-reform in 2008. Results imply that the reform contributes to an expansion of biogas electricity generation and thus to substitution of fossil fuels. However, subsidies, land and transport emissions per unit of electricity produced increase. An alternative analysis shows that an EEG with tariffs independent from plant-types would provide the highest subsidy-efficiency, lower land requirements and higher transport emissions compared to EEG before its reformation.

Zusammenfassung: Biogasproduktion wird in Deutschland mit dem Ziel des Klima- und Umweltschutzes sowie der Substitution fossiler Energieträger durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert. Dieser Beitrag analysiert quantitativ durch Kopplung eines Agrarsektor- und eines Standortmodells die Novellierung des EEGs in 2008. Die Ergebnisse zeigen, dass die Novellierung durch einen verstärkten Ausbau der Energieerzeugung durch Biogas zur weiteren Substitution fossiler Energieträger beiträgt, allerdings auch zu höheren Kosten pro erzeugter Einheit Strom. Die Flächeneffizienz sinkt, während Transportemissionen ansteigen. Eine alternativ untersuchte Ausgestaltung einer anlageunabhängigen Vergütung im EEG zeigt die höchste Subventionseffizienz, bei allerdings niedrigerer Flächeneffizienz und höheren Transportemissionen im Vergleich zum EEG vor der Novellierung.

Keywords: Biogas, land use, renewable energy policy, coupled models, EEG

JEL classification: C02, C61, Q15, Q42, Q48

Ruth Delzeit

Kiel Institute for the World Economy
D-24100 Kiel
E-mail: ruth.delzeit@ifw-kiel.de

Wolfgang Britz

Institute for Food and Resource Economics,
University Bonn, Nussallee 21, D-53115 Bonn
Email: wolfgang.britz@ilr.uni-bonn.de

Karin Holm-Müller

Institute for Food and Resource Economics,
University Bonn, Nussallee 21, D-53115 Bonn
Email: karin.holm-mueller@ilr.uni-bonn.de

*Financial support from the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) is gratefully acknowledged.

The responsibility for the contents of the working papers rests with the author, not the Institute. Since working papers are of a preliminary nature, it may be useful to contact the author of a particular working paper about results or caveats before referring to, or quoting, a paper. Any comments on working papers should be sent directly to the author. Coverphoto: uni_com on photocase.com

1. Einleitung

Die Produktion von Biogas wird in Deutschland im Hinblick auf verschiedenen Zielsetzungen gefördert. So soll der Anteil von erneuerbaren Energien am Energiemix erhöht, fossile Energiequellen geschont, negative externe Effekte reduziert und Natur und Umwelt geschützt werden (BGBI 2004, 2008). Ein Vorläufer des heutigen EEGs wurde bereits 1991 als „Stromeinspeisungsgesetz SEG“ verabschiedet. Das SEG ermöglichte Produzenten von Strom aus Biogasanlagen einen Zugang zum Stromnetz und verpflichtete Stromnetzbetreiber, das eingespeiste Biogas zu einem am Endverbraucherpreis gekoppelten Satz zu vergüten (BGBI 1990). Durch das EEG von 2001 als Novelle des SEG wurde die Einspeisevergütung erhöht und nach Anlagengröße differenziert (BGBI 2000). Die Vergütung wird im EEG 2001, wie in folgenden Novellierungen, über einen Zeitraum von 20 Jahren garantiert. Dieser Satz fällt allerdings umso geringer aus, je später die Anlagen gebaut werden, um einen Anreiz zu Effizienzsteigerungen zu setzen.

Ein massiver Ausbau der Biogasproduktion folgte allerdings erst nach der erneuten Novellierung 2004 (siehe auch Abbildung 1). Die nach Anlagengröße differenzierten Einspeisevergütungen wurden hierbei angehoben und unterteilt in eine Grundvergütung und zusätzliche Boni für die Verwendung nachwachsender Rohstoffe („NaWaRo-Bonus“), für die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung und für den Einsatz einer innovativen Technologie wie beispielsweise der Biogasaufbereitung zur Einspeisung ins Erdgasnetz oder Trockenfermentation (BGBI 2004).

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung von Anlagenzahl und installierter elektrischer Leistung. Letztere stieg von 190 MW_{el} in 2003 auf 1450 MW_{el} in 2008 an. Vor dem EEG 2004 dominierten Kleinanlagen mit Leistungen unter 70 kW_{el}. Das EEG 2004 forcierte einerseits den Ausbau von Anlagen in der Größenklasse von 150 bis 500kW_{el}, für welche die höchste Einspeisevergütung gezahlt wurde. Andererseits wurde wie bereits erwähnt die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz gefördert. Die hierzu notwendige Aufbereitung von Rohbiogas ist ökonomisch nur für große Anlagen sinnvoll. Beide Ausgestaltungskriterien des EEG 2004 ließen die durchschnittliche Anlagengröße stark ansteigen (vgl. Abbildung 1).

Während frühe (Pilot)Anlagen oft mit Reststoffen wie Gülle betrieben wurden, konzentriert sich die Biogasproduktion zunehmend auf Silomais, der aufgrund hoher Energiedichte und relativ niedrigen Produktionskosten pro Energieeinheit das ökonomisch vorteilhafteste Ausgangsmaterial ist (Schulze-Steinmann & Holm-Müller 2010, Schlowin et al. 2007).

Abbildung 1: Entwicklung des Anlagenbestands und -leistung in Deutschland



Quellen: FNR nach DBFZ (2010), FvB (2010)

Quelle: FNR 2009

In Folge des massiven Anstiegs der Preise landwirtschaftlicher Rohstoffe in 2007/2008 wird verstärkt Kritik an landwirtschaftlich erzeugter Bioenergie aufgrund ihrer Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung geübt (z.B. Quirin et al. 2004, Zah et al. 2007, Banse et al. 2008, Al-Riffai et al. 2010). Darüber hinaus werden auch Umweltgesichtspunkte diskutiert, da steigende Outputpreise eine Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion und die Ausdehnung von Pflugland bewirken z.B. durch Grünlandumbruch oder Abholzung. Die Förderung der Biogasproduktion durch das EEG stellt hingegen eine deutsche Besonderheit mit weiteren, spezifischen externen Effekten dar. Diese resultieren aus der überwiegenden Nutzung von Silomais als Substrat, während Biokraftstoffe in Deutschland überwiegend aus Raps produziert werden. Silomais weist im Vergleich zu anderen Ackerkulturen, und noch stärker dem Grünland, spezifische Umweltprobleme auf (SRU 2007, S.43). Diese sind einmal dem hohen Reihenabstand des Maises und dem relativ späten Schließen des Pflanzenbestandes geschuldet. Beides führt zu einer relativ hohen Erosionsanfälligkeit, erleichtert aber auch die Ausbringung hoher Güllemengen im Pflanzenbestand. Silomais hat alternative Kulturen auf sehr leichten, durchlässigen Böden weit zurückgedrängt. Solche Böden lassen wasserlösliche Nährstoffe wie Nitrat aus Gülle besonders schnell unter die Wurzelzone gelangen, was zu hohen Verlusten führen kann. Zudem ist Mais eine C4 Kultur, die durch Einsatz bestimmter Herbizide auch mehrjährig in Folge angebaut werden kann (Lütke Entrup et al. 1993, Lütke Entrup & Oehmichen 2006). Hinzu tritt die Erhöhung

des Transportvolumens und damit verbundenen Emissionen im Vergleich zu Ackerkulturen wie Getreide oder Ölsaaten, da Silomais mit einem relativ hohen Wassergehalt geerntet wird. Die Novellierung des EEGs im Jahre 2008 erfolgte erstens in Hinblick auf die geänderten Marktbedingungen. Steigende Getreide- und Ölsaatenpreise erhöhten durch Flächenkonkurrenz auch die Substratkosten der Biogasproduzenten und gefährdeten somit den politisch erwünschten weiteren Ausbau der Biogaserzeugung. Demzufolge wurden die Einspeisevergütungen angehoben. Zweitens wurde der Kritik an der Konzentration auf Silomais Rechnung getragen, indem ein sogenannter „Güllebonus“ eingeführt wurde, der für die ersten 150kW mit zusätzlichen vier Cent je Kilowattstunde und bis einschließlich einer Leistung von 500kW mit einem Cent je Kilowattstunde vergütet wird, solange ein Substratanteil von 30% Gülle erreicht wird (BGBL 2008).

Der Artikel untersucht deshalb, inwieweit die Novellierung des EEGs 2008 die erhoffte Reduzierung des Silomaisanbaus durch erhöhten Einsatz ein Gülle sowie einen weiteren Ausbau der Biogaserzeugung erreicht. Die quantitative Analyse durch ökonomische Simulationsmodelle vergleicht das aktuelle EEG 2008 einerseits mit seinem Vorgänger, dem EEG 2004, und andererseits einer alternativen Ausgestaltung (Einspeisevergütungen, die unabhängig von der Anlagengröße, verwendeter Technik oder Substratzusammensetzung sind). Der Vergleich erfolgt im Hinblick auf a) Menge erzeugten Stroms, b) Kosten für den Steuerzahler je kWh_{el}, c) Landnutzungsänderungen anhand des Anteil der Maisproduktionsfläche an der landwirtschaftlichen Nutzfläche und Flächeneffizienz, d) CO₂ - Emissionen des Mais- und Gärresttransports je kWh_{el}.

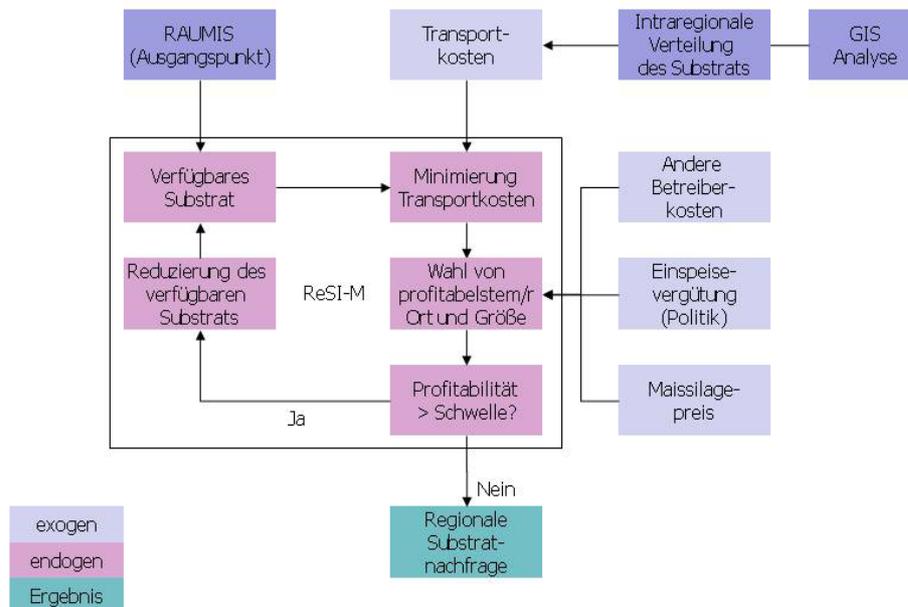
Im Folgenden stellen wir kurz die Methodik dar, bevor Ergebnisse anhand der obigen Indikatoren vorgestellt und anschließend bewertet werden.

2. Methoden und Daten

Zur Quantifizierung der unter den drei Szenarien entstehenden Anlagenstruktur und Silomaisnachfrage in Deutschland wird das Regionalisierte Standortinformationssystem-Mais (ReSI-M) verwendet. ReSI-M simuliert auf Landkreisebene (NUTS 3 Regionen) sequenziell Größe und Anzahl von Biogasanlagen unter der Annahme gewinnmaximierender Investoren. Dem Investor stehen, in Anlehnung an die Ausgestaltung der Einspeisevergütungen des EEGs, vier Anlagengrößen (150, 500, 1000 und 2000 kW_{el}) zur Auswahl. Des Weiteren können unterschiedlichen Substratanteile von Silomais und Gülle je Anlagengröße gewählt

werden, die ebenfalls die Einspeisevergütung bestimmen. Abbildung 1 illustriert das konzeptionelle Vorgehen.

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Aufbaus von ReSI-M



Investitionsentscheidungen, differenziert nach Anlagengröße, Substratzusammensetzung, Landkreis und Standort innerhalb des Landkreises, werden annahmegemäß aufgrund von „return on investments“ (ROI) getroffen. Hierbei wird sequentiell immer die ökonomisch vorteilhafteste Kombination realisiert, bis der ROI unter eine Schwelle fällt. Der ROI ist hierbei definiert als Differenz zwischen der Vergütung für eingeleitete Energie und eventuellen Erlösen aus Wärmeverkauf einerseits und Produktions- und Weiterverarbeitungskosten andererseits in Bezug auf die Investitionssumme. Produktions- und Weiterverarbeitungskosten sind Urban et al. (2008) und KTBL (Achilles 2005, S. 942-944) entnommen. Transport- und Substratkosten werden detailliert regionalisiert abgebildet, um den Einfluss regionaler Faktoren auf Wahl der Anlagenstandorte, -dichte und -größe zu erfassen, basierend auf Analysen mittels eines Geographischen Informationssystems (GIS).

Die GIS-Analyse definiert für jeden Landkreis, ob Wärme als Nebenprodukt der Biogasproduktion lokal genutzt und ob aufbereitetes Biogas in das Erdgasnetz eingespeist werden kann. Außerdem werden „verdichtete Landkreise“ als jene mit mehr als 500 Einwohnern je km² identifiziert und aus der Analyse ausgeschlossen. Daten hierzu wurden vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) und den Statistischen Ämtern des Bundes und der Länder (2005) bereitgestellt. Transportkosten von Silomais werden in

Abhängigkeit von Verfügbarkeit, Erträgen und der Verteilung landwirtschaftlicher Nutzfläche quantifiziert, und variieren auch innerhalb der Landkreise. Die zugrundeliegenden Daten zur kleinräumigen Verteilung der landwirtschaftlichen Landnutzfläche stammen von Leip et al. (2008), ihnen liegt ein Kalibrierung der Europäischen CORINE land cover (CLC) Datenbasis zu nationalen und regionalen Agrarstatistiken zugrunde. Verfügbare Güllemengen ebenso wie regionalisierte Silomaiserträge stammen aus Simulationsrechnungen mittels des regionalen Agrarsektormodells (RAUMIS) (vergl. Gömann et al. 2007). Für diese Simulationsrechnungen wurden bestimmte Annahmen über die Entwicklung von Erzeugerpreise und -kosten bis 2020 für alle wichtigen landwirtschaftlichen Güter in einem Baseline-Szenario getroffen (vgl. Gömann et al. 2007).

Zur Berechnung des Silomaisanbaus zur Biogasproduktion und somit dem Anteil von Silomais an der landwirtschaftlichen Nutzfläche einer Region werden regionale Silomaismärkte simuliert. Hierzu werden in einem ersten Schritt für jeden Landkreis und verschiedene Silomaispreise Punkte einer Nachfragefunktion bestimmt, als Summe der nachgefragten Silomaismengen aller zum jeweiligen Silomaispreis simulierten Anlagen. In einem weiteren Schritt wird für jeden Landkreis der Schnittpunkt der so ermittelten Nachfragefunktion mit der regionalen Silomaisangebotsfunktion aus dem RAUMIS Modell bestimmt. Eine detaillierte Modellbeschreibung von ReSI-M kann Delzeit et al. (2011) entnommen werden.

Die aus diesem Ansatz resultierenden Ergebnisse werden im folgenden Kapitel für die drei Szenarien vorgestellt.

3. Bewertung des EEGs

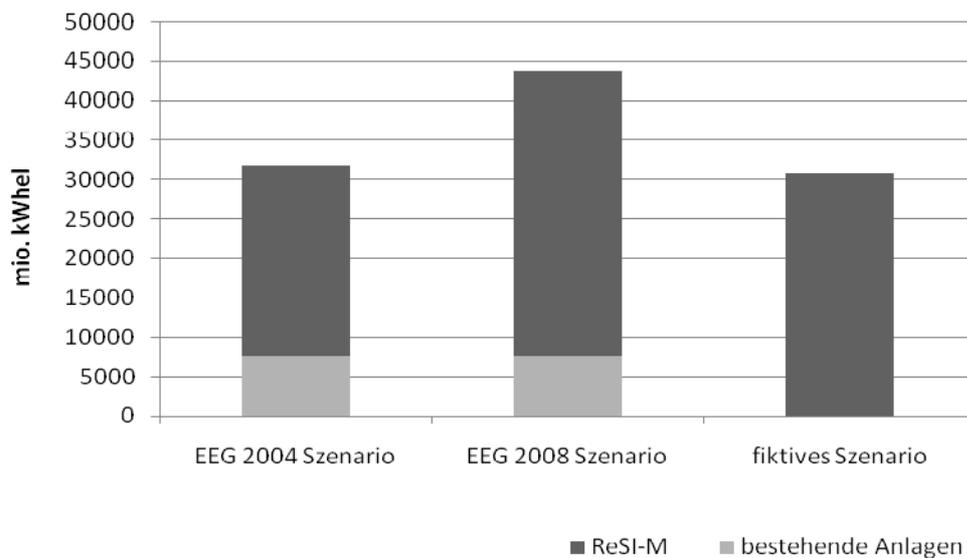
3.1 Beschreibung der Szenarien und der produzierten Strommenge

Die Szenarien „EEG 2004“ und „EEG 2008“ unterscheiden sich in den Einspeisevergütungen und Boni entsprechend den jeweiligen Gesetzesgrundlagen. In beiden Szenarien wird der bestehende Substratbedarf der in 2008 bestehenden Anlagen berücksichtigt. Das dritte, fiktive Szenario berücksichtigt bestehende Anlagen nicht und zahlt eine einheitliche Einspeisevergütung unabhängig von Anlagengröße, verwendeter Technik oder Substratzusammensetzung. Da so ein direkter Einfluss des Gesetzgebers auf Anlagengröße und -technik oder Substratwahl durch differenzierte Einspeisevergütungen entfällt, sollte eine kostenminimale Anlagenstruktur errichtet werden. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde

die Einspeisevergütung so gewählt, dass national eine (fast) mit dem EEG 2004 identische Strommenge simuliert wird.

Die simulierte jährliche Stromproduktion im Zieljahr 2020 zeigt Abbildung 2. Im Vergleich zum EEG 2004 und der damit abgestimmten Stromproduktion im fiktiven Szenario wird unter dem EEG 2008 erheblich mehr Strom erzeugt. Die im EEG 2008 angehobenen Einspeisevergütungen erlauben Gewinne auch noch bei hohen Substratpreisen, woraus höhere regionale Gleichgewichtsmengen resultieren. Der durch das EEG 2008 angestrebte weitere Ausbaus der Elektrizitätsproduktion aus erneuerbaren Energien wird also erreicht. Auswirkungen auf Subventionen, Landnutzung und CO₂-Emissionen werden den folgenden Abschnitten diskutiert.

Abbildung 2: Jährliche Energieproduktion unter den Szenarien



3.1 Subventionen

Die Subventionseffizienz wird hier erfasst, in dem die ausgezahlten Einspeisevergütungen und Boni auf die erzeugte Gesamtmenge an Strom bezogen werden.

Tabelle 1: Subventionen je produzierter Stromeinheit

	EEG 2004 Szenario	EEG 2008 Szenario	Fiktives Szenario
€/ kWh _{el}	0,21	0,28	0,16

Wie zu erwarten, müssen unter dem fiktiven Szenario je produzierter Kilowattstunde Strom die geringsten Einspeisevergütungen aufgebracht werden. Hierbei werden vornehmlich

Großanlagen mit hoher Energieeffizienz erstellt, die das erzeugte Biogas aufbereiten und in das Erdgasnetz einspeisen, um es an einem Ort mit hohem Wärmenutzungspotential in Blockheizkraftwerken in Elektrizität und Wärme umzuwandeln.

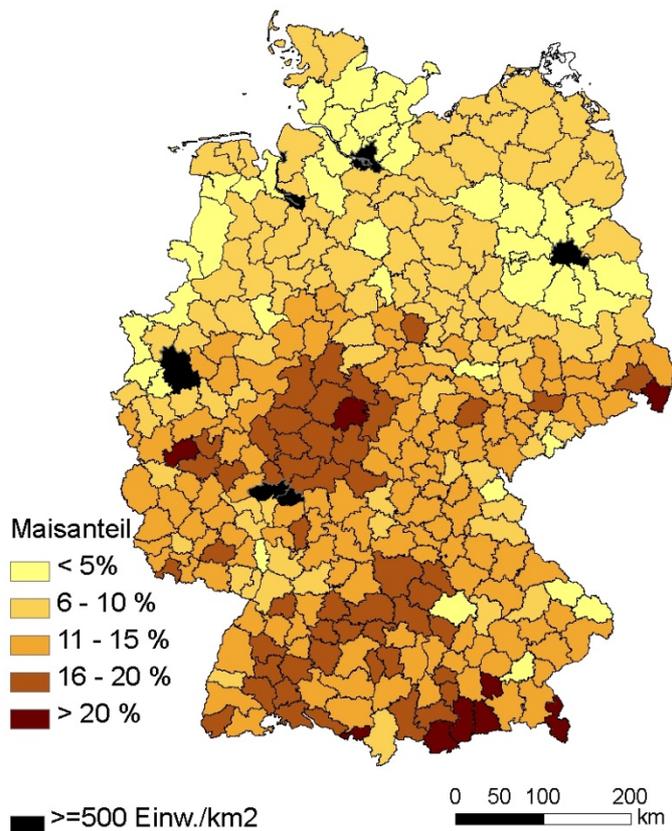
Die Novellierung des EEGs in 2008 führt zu um ca. 7 Cent/kWh_{el} und damit um ein Drittel höheren Subventionen je produzierter Stromeinheit im Vergleich zum EEG 2004. Bereits die Grundvergütung ist im EEG 2008 höher, hinzu kommt der Güllebonus. Zudem dominieren aufgrund der spezifischen Staffelung der Einspeisevergütung und der Boni unter der 2008 Novelle kleinere 150kW-Anlagen, die im Vergleich zu größeren Anlagen höhere Subventionsbeträge je kWh_{el} bei geringerer Energieeffizienz erhalten, was den Subventionsbedarf je kWh_{el} zusätzlich erhöht.

Im folgenden Abschnitt werden nun die aus der Biogasförderung resultierenden Maisanbauflächenanteilen der Szenarien verglichen.

3.2 Landnutzungsänderungen

Ergebnisse zu Silomaismärkten werden auf Landkreisebene ermittelt. Hierbei wird die Silomaisanbaufläche zur Erzeugung von Biogas je Landwirtschaftlicher Nutzfläche (LN) als Vergleichsgröße herangezogen. Unter dem EEG 2004 Szenario finden sich die höchsten Anteile vor allem in Ackerbauregionen mit geringen Transportkosten und einer hohen Silomaisverfügbarkeit wie Hessen und Mittelfranken (siehe Abbildung 3). In einigen Landkreisen Südbayerns ist die LN so klein, dass bereits geringe Änderungen des Maisanbaus prozentual zu großen Anteilen der Maisanbaufläche führen (vergl. dunkel markierte Landkreise). Die absolute Maisproduktion in diesen Landkreisen ist aber marginal. In der Summe wird im Zieljahr 2020 unter dem EEG 2004 eine Fläche von 1,08 Mio ha mit Maisanbau zu Biogasherstellung in Deutschland bewirtschaftet, das entspricht etwa 9 % der gesamten Anbaufläche.

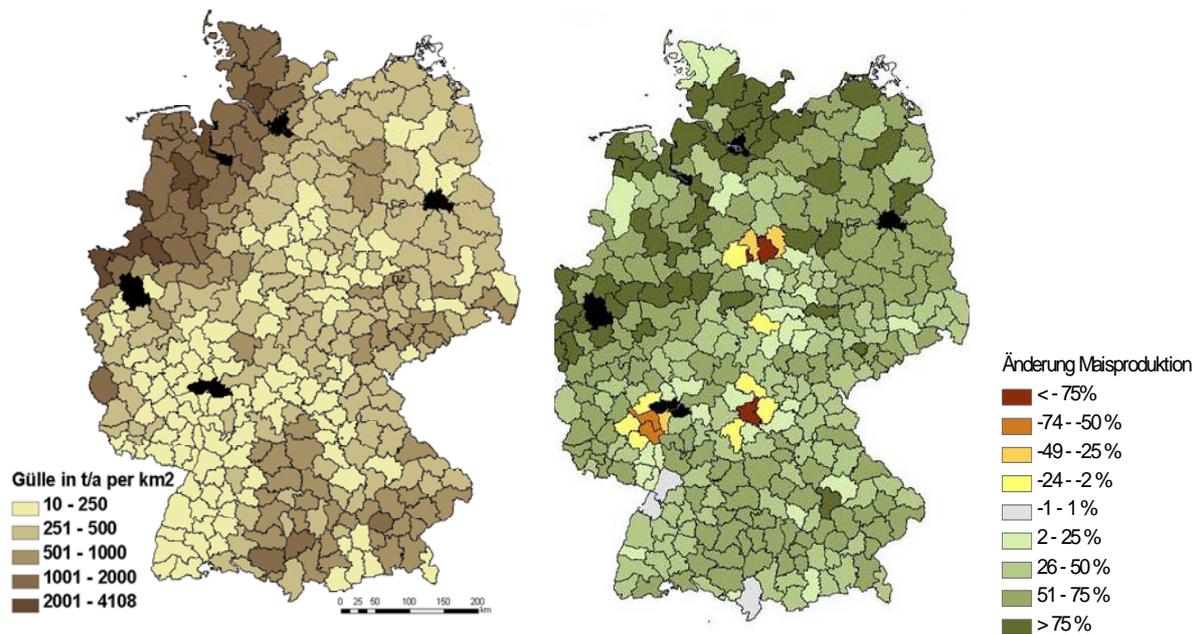
Abbildung 3: Silomaisanbaufläche unter EEG 2004 Szenario



Quelle: Simulationen mit RAUMIS und ReSI-M, Bevölkerungsdichte BBR and SOFL (2005)

Wie Abbildung 4 rechts zeigt, steigt die Silomaisanbaufläche zur Biogaserzeugung unter dem EEG 2008 im Vergleich zum EEG 2004 fast flächendeckend an, im Schnitt um 65%. Die größten Zuwächse finden sich in Regionen mit hohen Viehdichten und somit einer hohen Gülleverfügbarkeit (vergleiche Abbildung 4, links), somit vor allem in Nordwestdeutschland. Eine Reduktion ergibt sich nur in einzelnen Landkreisen mit im Verhältnis zur verfügbaren Silomaismenge geringer Gülleverfügbarkeit (siehe orange/gelb gefärbte Landkreise in Abbildung 4, rechts).

Abbildung 4: Gülleverfügbarkeit (links) und Änderung der Silomaisanbaufläche unter EEG 2008

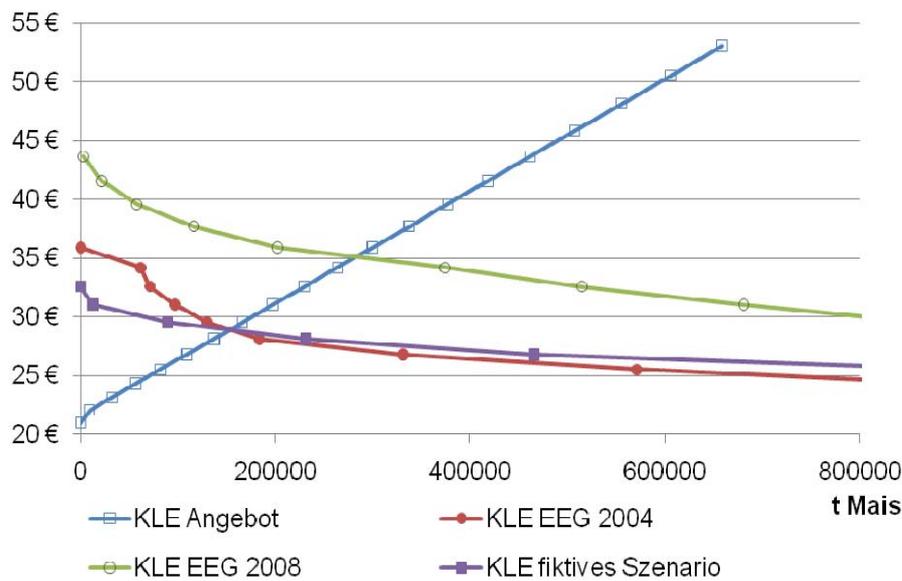


Quelle: Simulationen mit RAUMIS and ReSI-M, Bevölkerungsdichte BBR and SOFL (2005)

Wie oben erwähnt lässt sich die höhere Silomaisproduktion auf die für alle Anlagengrößen gestiegene Grundvergütung und den zusätzlich eingeführten Güllebonus für Leistungen bis zu 500kW zurückführen: Hierdurch werden, wie die Simulationsergebnisse zeigen, Kleinanlagen mit einem Anteil von 30% Gülle am Masseanteil der Einsatzstoffe an fast allen Standorten am profitabelsten. In Folge ergeben sich in manchen Regionen Gleichgewichtspreise von bis zu 40€/t Silomais (bis zu diesen Preisen können Anlagen noch einen ROI über dem angenommenen Marktzinssatz von 6% erzielen).

Abbildung 5 zeigt exemplarisch für den nordwestdeutschen Landkreis Kleve die Silomaisangebotskurve, Silomaisnachfragefunktionen je Szenario und die sich ergebenden Schnittpunkte. Bei geringen Silomaispreisen werden unter dem EEG 2008 Szenario sehr hohe Mengen Mais nachgefragt, erst bei 45€/t wird die Errichtung weiterer Anlagen nicht mehr rentabel. Unter dem EEG 2004 Szenario ist dies bereits bei einem Maispreis von 36€/t der Fall. Der Gleichgewichtspreis im EEG 2008 (Schnittpunkt der grünen und blauen Kurve) liegt um 6 €/t Mais über EEG 2004 (Schnittpunkt rot-blau), während sich die produzierte und nachgefragte Silomaismenge von rund 153.000 t auf ca. 280.000 t fast verdoppelt.

Abbildung 5: Regionaler Silomaismarkt Kleve



Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Novellierung des EEG 2008 nicht wie erwünscht zu einer Reduktion der Silomaisfläche und somit einer Verringerung der Flächenkonkurrenz führt, sondern diese insbesondere in Regionen mit hohem Viehbestand aufgrund der durch die Ausgestaltung der Boni erwirkten Komplementarität zur Gülle noch verstärkt. Allerdings wird, wie angestrebt, die Energieproduktion aus erneuerbaren Energien gesteigert.

Interessant ist nun die Frage, ob das EEG 2008 durch den erhöhten Einsatzanteil von Gülle Strom zumindest flächensparender produziert. Hierzu setzen wir die zur Erzeugung des eingesetzten Silomaises notwendige Fläche (ha) ins Verhältnis zur Stromproduktion (kWh_{el}). Erstaunlicherweise steigt der Flächenbedarf ($\text{kWh}_{\text{el}}/\text{ha}$) im EEG 2008 gegenüber dem EEG 2004 trotz des höheren Gülleanteils im Substrat um 8% an. Einerseits ist die Energiedichte der Gülle so gering, dass sie bei einem Massenanteil von 30% nur zu sieben Prozent zur Energieproduktion beiträgt. Andererseits begünstigt das EEG 2008 kleinere Anlagen mit geringerer Energieeffizienz.

Das kosteneffiziente, fiktive Szenario ist weniger flächeneffizient als das EEG 2004, eine Folge eines geringeren Gülleanteils und somit höheren Silomaiseinsatzes, den die gestiegene Energieeffizienz durch eine höhere durchschnittlicher Anlagegröße nicht ausgleicht.

Im folgenden Kapitel werden nun die Transportemissionen der verschiedenen Szenarien gegenübergestellt.

3.3 CO₂ Emissionen aus Ernte und Transport

In ReSI-M werden unterschiedliche Transportdistanzen je nach Flächenanteil Silomais, Silomaisertrag und Silomaisbedarf der Anlage berücksichtigt (vgl. Kapitel 2). Dies ist die Grundlage, um aus dem im jeweiligen Szenario berechneten Anlagenportfolio Transportemissionen je Landkreis abzuleiten.

Hierbei fließt zum einen der Dieselbedarf zum Häckseln und für die zwischen Feld und Anlage pendelnden Transporteinheiten auf Basis einer Studie von Toews und Kuhlmann (2008) ein. Für den Gärresttransport werden entsprechende Zahlen aus Kellner (2008) verwendet. Des Weiteren wird nach BMU (2008) von 2,65 g CO₂ je Liter Diesel ausgegangen. Da die Gülle als landwirtschaftlicher Reststoff unabhängig von Ihrer Nutzung in einer Biogasanlage anfällt, werden nur die Transportemissionen der Gärrestaushbringung ursächlich der Biogasanlage zugerechnet.

Beispielhaft zeigt Tabelle 2 für zwei Landkreise mit hohen und niedrigen Transportdistanzen die resultierenden Maistransportemissionen. Dabei dient Ansbach als ein Beispiel für einen Landkreis mit geringen und Olpe als ein Landkreis mit hohen Transportdistanzen. Geringe Transportdistanzen resultieren aus einer hohen Flächendichte landwirtschaftlicher Nutzung im Raum und hohen Silomaiserträgen. Dieser Effekt gilt, wie ersichtlich, für alle Anlagengrößen. Die hohe Silomaisverfügbarkeit im Raum führt in Ansbach dazu, dass die steigende Energieeffizienz größerer Anlagen den Effekt einer höheren mittleren Transportentfernung aufgrund des gestiegenen Einzugsgebietes überwiegt. In Olpe zeigt sich hingegen der größere Einzugsradius als dominant.

Tabelle 2: Vergleich von Transport- und Ernteemissionen in zweier Landkreise

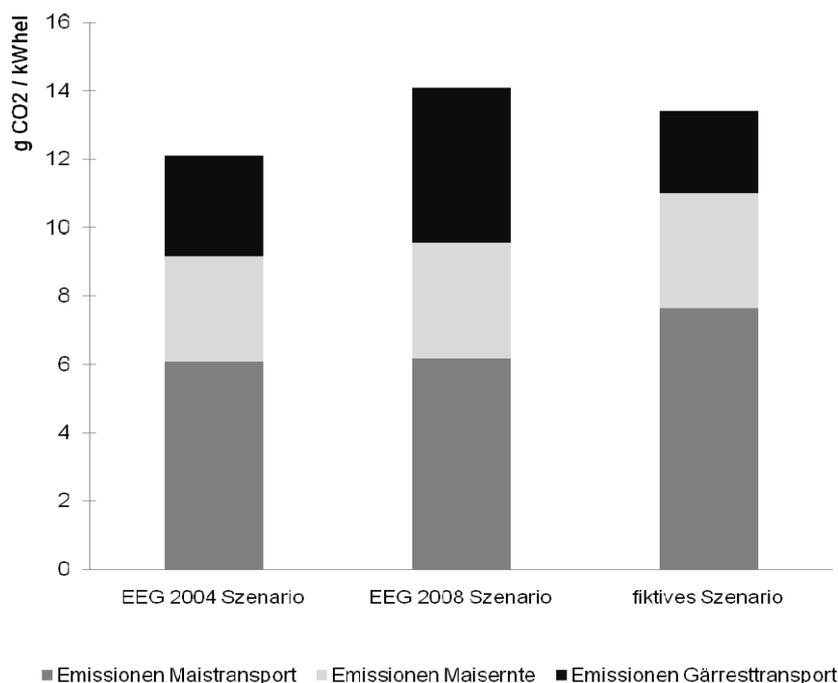
	Ansbach	Olpe
Anlagentyp	Transportemissionen in g CO₂/kWh_{el}	Transportemissionen in g CO₂/kWh_{el}
150 kW _{el} (30% Gülle)	8.9	19.2
500 kW _{el} (10% Gülle)	8.4	22.9
1000 kW _{el} (1% Gülle)	8.3	25.8
2000 kW _{el} (1% Gülle)	8.2	30.0

Die resultierenden Emissionen je kWh_{el} werden in Abbildung 6 für die drei Szenarien im Durchschnitt für Deutschland dargestellt. Die CO₂ Emissionen für die Ernte (heller Teil der Balken) unterscheiden sich nur wenig. Damit kommen die Unterschiede überwiegend durch Differenzen der Transportemissionen für Silomais und Gärreste zustande.

Im Vergleich zum EEG 2004 wird unter EEG 2008 vermehrt Gülle eingesetzt, durch die dadurch sinkende Energiedichte im Substrat nimmt die zu transportierende Gesamtmenge an Gärresten zu (schwarzer Balken in der Graphik). Die Anlagen sind zudem weniger energieeffizient. Zusätzlich führt die Ausdehnung der Silomaisproduktion im Schnitt um 65% dazu, dass auch Anlagen in Gebieten gebaut werden, in denen der Anteil der LN an der Gesamtfläche gering ist. Hierdurch nimmt bei gleicher Anlagengröße die mittlere Transportentfernung zum Feld zu. Dies erklärt, warum die Transportemissionen für Silomais trotz kleinerer Anlagen (= kleinerer Transportradius) und höherem Gülleanteil nicht sinken.

Im fiktiven Szenario ist der Energiebedarf zum Abtransport der Gärreste am geringsten, bedingt durch die höchste Energieeffizienz aufgrund großer Anlagen und dem kleinsten Anteil an Gülle, wodurch die geringste zu transportierende Gesamtmenge Substrat im Vergleich der Szenarien resultiert. Die Transportemissionen zum Bezug des Silomaises pro produzierter Einheit Strom sind allerdings am höchsten, aufgrund der größten mittleren Entfernung Anlage Feld durch die höchste Anlagengröße. In der Summe liegen die Transportemissionen des fiktiven Szenarios zwischen dem EEG 2004 und 2008.

Abbildung 6: Ernte- und Transportemissionen je kWh_{el}



4. Diskussion der Ergebnisse und Zusammenfassung

Der Anstieg der Grundvergütung und die Einführung des Güllebonus im EEG 2008 führen zur angestrebten Ausdehnung der Energieerzeugung aus Biomasse. Allerdings entstehen dabei nicht nur absolut, sondern auch bezogen auf die produzierte Strommenge die höchsten Kosten für den Steuerzahler. So zeigen unsere Ergebnisse, dass unter dem EEG 2008 ca. 7 Cent mehr je produzierter Kilowattstunde Strom gezahlt werden müssen. Auch beim normierten Flächenbedarf - Anbaufläche Silomais pro produzierter Stromeinheit - und Transportemissionen hat die alte Version des EEGs (2004) Vorteile gegenüber der Novellierung (siehe Tabelle 3). Durch die Novellierung werden kleinere Anlagen mit geringerer Energieeffizienz errichtet, was auch durch den höheren Anteil an Gülle im Substrat nicht ausgeglichen wird.

Tabelle 3: Vergleich der Ergebnisse

	EEG 2004 Szenario	EEG 2008 Szenario	Fiktives Szenario
Stromproduktion (Mio. kWh_{el})	31000	<u>43000</u>	30000
Subventionskosten (€/ kWh_{el})	0,21	0,28	<u>0,16</u>
Flächenbedarf (ha / Mio. kWh_{el})	<u>35</u>	37	39
Transportemissionen (g CO₂/kWh_{el})	<u>12</u>	14	13

Das von uns als theoretisch kostenminimale Option gewählte fiktive Szenario ist, wie erwartet, mit den geringsten Subventionen je kWh_{el} verbunden, da überwiegend große, energieeffiziente Anlagen gespeist durch Silomais errichtet werden. Durch die Verdrängung von Gülle als Gärsubstrat und die höheren mittleren Transportentfernungen zwischen Feld und Anlage steigen aber Ernte- und Transportemissionen pro erzeugter Stromeinheit gegenüber dem EEG 2004 an.

Die Ergebnisse sind mit Unsicherheiten behaftet, die aus der Qualität der eingehenden Daten, der Methodik und weiteren Annahmen resultieren. Von der methodischen Seite sollte erwähnt

werden, dass aufgrund numerischer Restriktionen die Analyse simultan für alle Landkreise jeweils nur eines Regierungsbezirkes durchgeführt wurde. Ein Transport von Silomais über Regierungsbezirke hinweg wurde damit von uns ausgeschlossen. Um die geringe Transportwürdigung von Gülle zu erfassen, wurde hier zusätzlich der Transport über Landkreisgrenzen ausgeschlossen. Unserer Auffassung nach haben aber diese, aus der Modellstruktur folgenden Beschränkungen keinen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse.

Als Substrate wurden Silomais und Gülle in verschiedenen Mischungsverhältnissen in die Analyse einbezogen. Derzeit macht Silomais alleine bereits circa 80% der in Deutschland eingesetzten NaWaRos aus (Schlowin et al. 2007). Insofern erfasst unsere Analyse das dominierende Substrat und damit auch die wesentlichen Wirkungen auf Energieerzeugung und Flächennutzung.

Der Rohstoffbedarf von bestehenden Anlagen wurde in der Analyse anhand von Statistiken berücksichtigt, die Datengrundlage ist allerdings, insbesondere auf Landkreisebene, recht dünn. Die Verteilung der bestehenden Anlagen auf die Landkreise beruht deshalb zum Teil auf Annahmen. Eine weitere Einschränkung sind unvollständige Daten zu Kosten von verschiedenen Technologien der Gärrestaufbereitung. Für beides mag sich die Datenlage in den kommenden Jahren verbessern. Als kritischste Größe ist die Energieeffizienz der Anlagen zu betrachten, die auch in der Praxis erheblich schwankt. Für eine detaillierte Sensitivitätsanalyse im Hinblick auf die Energieeffizienz siehe Delzeit et al. (2011).

Unsere Analyse mittels einiger Schlüsselindikatoren legt nahe, dass die Novellierung des EEG 2004 zum EEG 2008 aus einer integrativen Sicht eher kritisch zu bewerten ist. Zwar ist, wie bei Erhöhung der Subventionssätze zu erwarten, die Gesamtmenge der subventioniert erzeugten Elektrizität ausgedehnt worden. Die höheren Kosten pro Einheit erzeugter Elektrizität sind aber weder von positiven Umweltwirkungen begleitet, noch überwiegend dem unvermeidlichen Grenzkostenanstieg durch die steigende Substratproduktion geschuldet. Vielmehr führt die spezifische Ausgestaltung der Einspeisevergütungen und Boni dazu, dass energetisch und damit auch ökonomisch ineffizientere Anlagen errichtet werden. Dieser Effekt wird auch durch die teure Subventionierung des Einsatzes von Gülle nicht ausgeglichen. Die angestrebte Reduktion der Flächenkonkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion und weiterer negative externe Effekte einer starken Ausdehnung der Silomaisanbaufläche wird damit nicht erreicht.

Literaturverzeichnis

- Al-Riffai, P., Dimaranan, B., Laborde, D. (2010), Global Trade and Environmental Impact Study of the EU Biofuels Mandate, Final Report by the International Food Policy Institute (IFPRI) for the Directorate General for Trade of the European Commission, URL: <http://www.ifpri.org/publication/global-trade-and-environmental-impact-study-eu-biofuels-mandate> (zuletzt online: 07.07.2010).
- Banse, M., van Meijl, H., Tabeau, A., Woltjer, G. (2008), Will the EU Biofuel Policies Affect Global Agricultural Markets?. European Review of Agricultural Economics 35 (2), 177-141.
- BGBI (Bundesgesetzblatt) (1990), Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz, 07.12.1990, 2633-2634.
- BGBI (Bundesgesetzblatt) (2000), Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, Nr. 13, 31.03.2000, 305-309.
- BGBI (Bundesgesetzblatt) Part 1 (2004), Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich, 21.7.2004, 1918-1930.
- BGBI (Bundesgesetzblatt) (2007), Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (DüV). Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27.02.2007 (BGBI I 221 S.).
- BGBI (Bundesgesetzblatt) Teil 1 (2008), Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften vom 25.10.2008, 2074-2100.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2008), Where do the emissions come from? CO₂ emissions and the polluter. URL: http://www.bmu.bund.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/klima_engl_dickeluft.pdf. Zuletzt online (01.09.2009).
- BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung), Bevölkerung: Stand 31.12. 2005.
- Delzeit, R., Britz, W. and Holm-Mueller K. (2011), Modelling regional input markets with numerous processing plants: The case of maize for biogas production in Germany. Diskussionspaper Serie "Food and Resource Economics", Institut für Lebensmittel- und Ressourcenökonomik, Universität Bonn. URL: http://www.ilr1.uni-bonn.de/agpo/publ/dispap/download/dispap11_01.pdf (zuletzt online: 18.01.11).

- FNR (Forschungsanstalt Nachwachsende Rohstoffe) (2009), Daten und Fakten: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. URL: http://www.nachwachsenderohstoffe.de/fileadmin/fnr/images/aktuelles/medien/RZ_Grafik_Anbau_09_rgb_300_ENG.jpg (zuletzt online: 30.11.2009).
- Gömann, H., Kreins, P., Breuer, T. (2007), Deutschland – Energie-Corn-Belt Europas? *German Journal of Agricultural Economics* 56 (5/6), 263-271.
- Kellner, U. (2008), Wirtschaftlichkeit und Nährstoffmanagement der Gärrestausbringung von Biogasanlagen. Diploma thesis at University of Bonn, Institute for Food and Resource Economics.
- Lütke Entrup, N., R. Wolf, Kratzer, I. (1993), Umweltkritische Bereiche des Maisanbaus Untersuchungen und Erhebungen aus der Praxis des Maisanbaus in der Bundesrepublik Deutschland. Verlag Dr. Kovac, Hamburg.
- Lütke Entrup, N. , Oehmichen, J. (2006), Lehrbuch des Pflanzenbaus, Verlag Th. Mann Gelsenkirchen.
- Quirin, M., Gärtner, S., Pehnt, M., Reinhardt, A. (2004), CO₂ mitigation through biofuels in the transport sector, Status and perspectives. Report by the Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg (IFEU), 55 S. URL: <http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/co2mitigation.pdf> (zuletzt online: 06.02.2010).
- Scholwin, F., Thraen, D., Daniel, J., Weber, M., Weber, A., Fischer, E., Jahraus, B., Klinski, S., Vetter, A., Beck, J. (2007), Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, Institut für Energetik und Umwelt. Final report on behalf of the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), 150p. URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-k/k3657.pdf> (zuletzt online: 02.02.2010).
- Schulte Steinmann, M., Holm-Müller, K. (2010), Thuenen Rings of Biogas Production - the Effect of Differences in Transport Costs of Energy Crops in the Choice of Renewable Resources by Biogas Plants. *German Journal of Agricultural Economics* 59 (1), 1-12.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2005), Regionaldatenbank Deutschland. Landwirtschaftliche Betriebe mit Viehhaltung, 2009. URL: <https://www.regionalstatistik.de> (zuletzt online 20.03.2009).

- Urban, W., Girod, K., Lohmann, H. (2008), Technologien und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz. Ergebnisse der Markterhebung 2007-2008. Fraunhofer UMSICHT, 124 S.
- Ramesohl, S., Arnold, K., Kaltschmitt, M., Scholwin, F., Hofmann, F., Plättner, A., Kalies, M., Lulies, S., Schröder, G., Althaus, W., Urban, W., Burmeister, F. (2006), Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW, Vol. 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen. Wuppertal: Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie.
- SRU (Sachverständigen Rat für Umweltfragen) (2007), Climate Change Mitigation by Biomass, Special Report. URL: http://eeac.hscglab.nl/files/D-SRU_ClimateChangeBiomass_Jul07.pdf (zuletzt online 02.02.2010).
- Toews, T., Kuhlmann, F. (2007), Transportkosten von Silomais: Bremsen die Transportkosten große Biogas-Anlagen aus?. Lohnunternehmen 9, 34-37.
- Zah, R., Böni, H., Gauch, M., Hirsch, R., Lehmann, M., Wägner, P. (2007), Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. Report by EMPA, 161 S. URL: <http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung/index.html?lang=de&publication=9146> (zuletzt online 06.02.2010).