



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.*

Scholz, L., Meyer-Aurich, A., Kirschke, D.: Bestimmungsfaktoren der Silomaisproduktion .
Eine räumlich-ökonometrische Analyse. In: Kirschke, D., Bokelmann, W., Hagedorn, K.,
Hüttel, S.: Wie viel Markt und wie viel Regulierung braucht eine nachhaltige
Agrarentwicklung? Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des
Landbaues e.V., Band 49, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (2014), S. 133-144.

BESTIMMUNGSFAKTOREN DER SILOMAISPRODUKTION – EINE RÄUMLICH-ÖKONOMETRISCHE ANALYSE

Lukas Scholz¹, Andreas Meyer-Aurich¹ und Dieter Kirschke²

Zusammenfassung

Der Ausbau der Silomaisproduktion hat in den letzten Jahren eine dynamische Entwicklung erlebt. Dies geschah vor dem Hintergrund kontinuierlich abnehmender Rinderbestände und einem rasanten Anstieg der Biogasproduktion. Angaben zum tatsächlichen Anbauumfang von Silomais für die deutsche Biogaserzeugung divergieren für das Jahr 2010 zwischen 500 000 ha und 800 000 ha. Auf Basis der im Rahmen dieser Studie entwickelten räumlich-ökonomischen Schätzmodelle, kann eine Abschätzung des Einsatzes von Silomais in der Biogasproduktion und Milch- und Rinderhaltung am Beispiel des Bundeslandes Bayern gegeben werden. So beträgt der durchschnittlich geschätzte Anteil von Silomais an der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Bayern 4,5 % für die Biogasproduktion und für die Milch- und Rindviehhaltung durchschnittlich 7,2 %. Für energetische Zwecke werden zudem schätzungsweise 40 % der Gesamtproduktion von Silomais eingesetzt. Durch die Ergebnisse dieser Studie kann ein möglicher weiterer Ausbau der Biogasproduktion umfassender bewertet werden. Mögliche Nutzungskonkurrenzen zwischen traditionellen Agrarsystemen und der Biogasproduktion sollten regional differenziert und auf einem möglichst hoch auflösenden räumlichen Aggregationsniveau betrachtet werden.

Schlüsselwörter

Biogasproduktion, räumliche Ökonometrie, Ex-post-Analysen

1 Einleitung

Der prozentuale Anteil an Silomais an der gesamten verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF) stieg in der Zeit von 2003 bis 2010 in Deutschland um ca. 60 % (SAeBL 2012). Gleichzeitig sank die Zahl der gehaltenen Rinder um ca. 8 % (SAEBl 2012). Im gleichen Zeitraum verachtfachte sich die installierte elektrische Biogasanlagenleistung (FVB 2012). Bis zur Einführung der staatlichen Förderung von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) als Eingangssubstrate in der Bioenergieerzeugung durch die erste Novellierung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2004 diente die Silomaisproduktion maßgeblich als Fütterungsgrundlage in der Rinder- und Milchproduktion (KREINS UND GÖMANN 2011). Der dominierende Produzent von Biogas in Deutschland ist neben Niedersachsen das Bundesland Bayern. So belief sich die Zahl der im Betrieb befindlichen Anlagen im Jahr 2012 auf 2 294 mit einer installierten Gesamtleistung von ca. 700 MW_{el} (FVB 2012). Die Abbildung 1 zeigt die Entwicklung des Silomaisanbaus (ha), der installierten Biogasanlagenleistung (GW_{el}) sowie die Anzahl der gehaltenen Rinder in Bayern für den Zeitraum 1999 bis 2010.

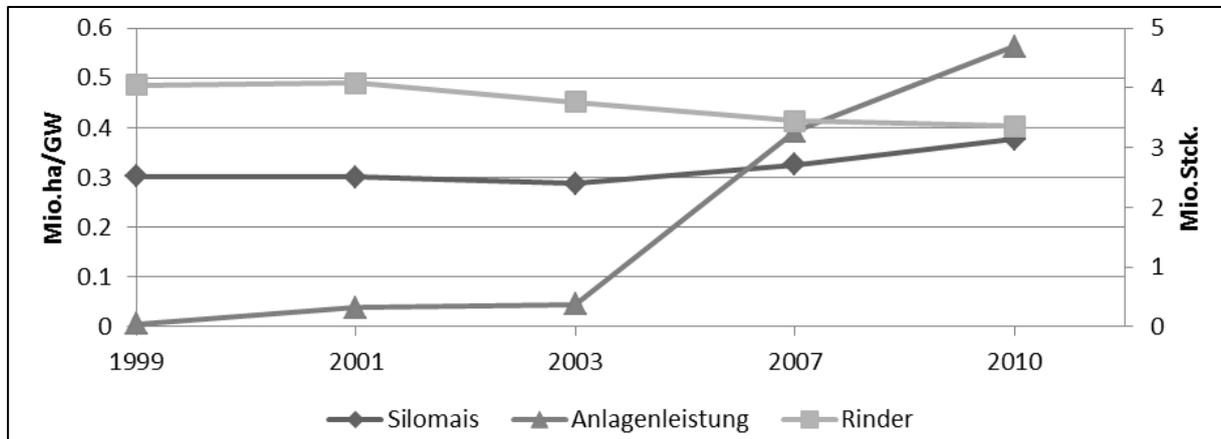
Neben Exkrementen der Tierproduktion bilden Energiepflanzen die Substratgrundlage der Biogasproduktion. Durch seine hohen Biogaserträge je Tonne organischer Trockenmasse (oTM) und der damit verbundenen hohen Wettbewerbsfähigkeit ist Silomais in Deutschland das dominierende Einsatzsubstrat in der Biogaserzeugung. Angaben zum tatsächlichen Anbauumfang von Energiemais divergieren aufgrund unterschiedlicher Berechnungsgrundlagen und Methoden für das Jahr 2010 in Deutschland zwischen 500 000 ha (FNR 2011) und rund

¹ Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, lscholz@atb-potsdam.de

² Humboldt Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Unter den Linden 6, 10099 Berlin

800 000 ha (KREINS UND GÖMANN 2011). Große Unsicherheiten bestehen ebenso bei der Abschätzung des regionalen Anbauumfangs von Silomais für energetische Zwecke. Eine gesetzliche Pflicht zur Meldung der tatsächlich eingesetzten Substratmengen in der Biogasproduktion auf Seiten der Anlagenbetreiber besteht nicht (UBA 2011).

Abbildung 1: Entwicklung des Silomaisanbaus, der installierten Biogasanlagenleistung und der Anzahl an Rindern im Bundesland Bayern 1999 – 2010



Quelle: Eigene Darstellung nach SAEBL (2012) und BNETZA (2013)

Der Einsatz von Silomais in der Biogasproduktion wird sowohl aus wissenschaftlicher, als auch aus gesellschaftlicher Sicht zunehmend kontrovers diskutiert (LEOPOLDINA 2012; FvB 2011, HEYDEMANN 2011, EMMANN UND THEUVSEN 2012, SCHOLZ et al. 2011, MEYER-AURICH et al. 2012; THIERING UND BAHRS 2011). Anteile von Silomais an der Ackerfläche von über 50 % in einigen nord- und süddeutschen Landkreisen verstärken die Angst vor einer *Vermassung der Landschaft* und führen zu sinkender Akzeptanz für die Energieproduktion auf Basis von NawaRos (ZSCHACHE et al. 2010). In KREINS UND GÖMANN (2011) wird von einer durchschnittlichen (2006/10) sektoralen Energiemaisfläche von 350 ha je MW_{el} ausgegangen. Dies entspricht einem Energiemaisanteil in Bayern von ca. 50 %, gemessen an der Gesamtproduktion von Silomais für das Jahr 2010.

Ebenso wurden innerlandwirtschaftliche Konkurrenzbeziehungen zwischen traditionellen landwirtschaftlichen Produktionssystemen und der Biogasproduktion in den vergangenen Jahren intensiv untersucht und dargestellt (DBFZ 2011; DE WITTE 2012).

Ziel dieser Untersuchung ist es den regionalen Einsatz von Silomais und den damit verbundene Flächenbedarf sowohl für die Biogaserzeugung als auch für die Milch- und Rindviehproduktion am Beispiel des Bundeslandes Bayern abzuschätzen. Dazu werden verschiedene räumlich-ökonomische Schätzmodelle entwickelt. Die Datenbasis bilden Datensätze der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (SAeBL) sowie der Bundesnetzagentur (BNetzA).

Die Berücksichtigung räumlicher Effekte lässt sich durch das Auftreten des Modifiable-Areal-Unit-Problems (MAUP) (Problem der veränderbaren Gebietseinheiten) nach OPENSHAW (1983) bzw. dem möglichen überregionalen Handel mit Silomais rechtfertigen. So stellen KREINS UND GÖMANN (2011) fest, dass die elektrische Anlagenleistung auf Landkreisebene das Nachfragepotential nach Gärsubstraten darstellt, jedoch keine genaue Auskunft über die tatsächliche räumliche Verteilung des Energiemaisanbaus geben kann. Mit der Anwendung räumlicher Regressionsmodelle wird der überregionale Handel mit Energiemais zwischen Landkreisen in die Untersuchung integriert.

Die Ergebnisse dieser Studie sollen zu einer Versachlichung der kontroversen Diskussion um die Nutzung von Energiemais in der Biogasproduktion und dem damit verbundenen Flächen

bedarf beitragen. Zudem können durch die Darstellung des regionalen Einsatzes von Silomais in der Biogasproduktion mögliche innerlandwirtschaftliche Konkurrenzbeziehungen detaillierter untersucht und die Folgen eines weiteren Ausbaus der Energieproduktion auf Basis von Silomais abgeschätzt werden.

2 Theorie und Methode

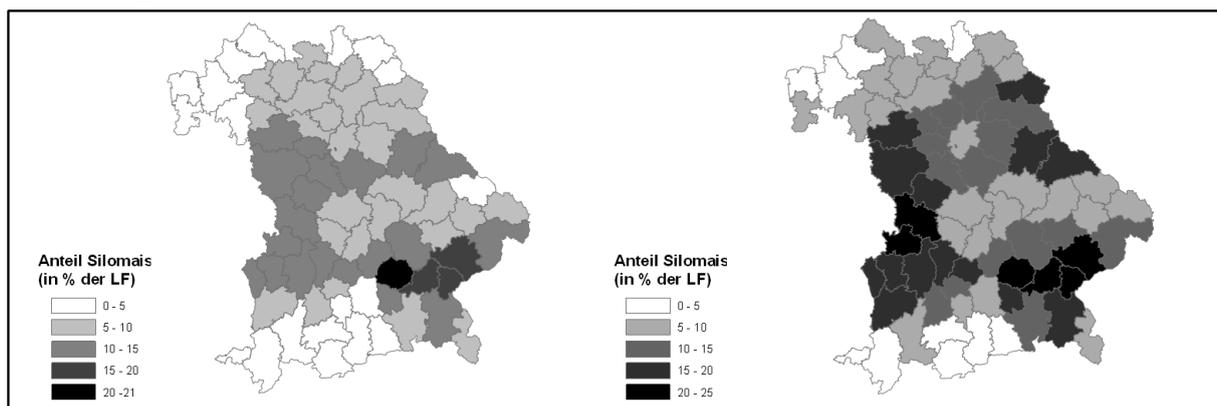
Die Datengrundlagen dieser Studie bilden die EEG-Jahresendabrechnung Biomasseanlagen 2011 der Bundesnetzagentur (BNETZA 2013) zur Abbildung der regionalen installierten elektrischen Biogasanlagenleistung in Kilowatt je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche (kW/ha LF) und die Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2010 (SAEBL 2012). Der Datensatz der BNetzA enthält alle Biomasseanlagen die eine Einspeisevergütung über das EEG erfahren. Zusätzlich wird Auskunft über den Tag der Inbetriebnahme, den Betriebsort sowie über die installierte Anlagenleistung gegeben. Durch eine MS-ACCESS Abfrage kann auf Grundlage des Datensatzes die regional installierte Biogasanlagenleistung auf Landkreisebene dargestellt werden. Die Daten der Landwirtschaftszählungen 2010 sind auf Landkreisebene frei verfügbar und über die SAeBL zu beziehen. Aus datenschutzrechtlichen Gründen kann es zu fehlenden Werten bei einzelnen Variablen in unterschiedlichen Landkreisen kommen. In diesen Fällen wird der Durchschnittswert des Bundeslandes für die Berechnungen gebildet und in den Datensatz integriert. Für die räumliche Regressionsanalyse ist eine möglichst homogene Größe der Untersuchungseinheiten wünschenswert. Dazu werden nach einer Methode von Osterburg (2012) die bayerischen kreisfreien Städte in die jeweiligen Landkreise integriert (N = 71). Die anschließende Analyse und Diskussion der Ergebnisse wird für diese aggregierten Untersuchungseinheiten durchgeführt.

Im Folgenden werden Einflussgrößen vorgestellt, die als mögliche erklärende Variablen für die Zielgröße *Anteil Silomais an der LF* (in % der gesamten LF) (SAEBL 2012) auf ihre statistische Signifikanz untersucht werden sollen. Die vorgestellten Einflussfaktoren sollen mit Hilfe von unterschiedlichen räumlichen Regressionsmodellen geschätzt werden. Die Regressionskoeffizienten der jeweiligen Modellspezifikationen werden genutzt, um den Einsatz von Silomais in der Biogasproduktion und Milch- und Rindviehhaltung und den damit verbundenen Flächenbedarf zu berechnen.

2.1 Identifikation von Bestimmungsfaktoren der Silomaisproduktion

Abbildung 2 zeigt, dass der Anteil an Silomais an der LF im letzten Jahrzehnt regionale Zuwächse erfahren hat. Im gesamten Bundesland Bayern stieg der Anteil von Silomais an der LF in der Zeit zwischen 1999 und 2010 um ca. 37 %. Gleichzeitig sank die Zahl der gehaltenen Rinder um ca. 27 % (SAEBL 2012).

Abbildung 2: Anteil Silomais an der LF in Bayern 1999 (links) und 2010



Quelle: Eigene Darstellung nach SAEBL (2012)

2.1.1 *Installierte Biogasanlagenleistung*

Im Bundesland Bayern waren 2 030 Biogasanlagen im Jahr 2010 in Betrieb (DBFZ 2011). Die installierte Biogasanlagenleistung (kW/ha LF) belief sich in den untersuchten Landkreisen zwischen 0 - 0,44 kW/ha LF (BNETZA 2013) für das Jahr 2010. Es wird von einer fördernden Wirkung einer steigenden *installierten Biogasanlagenleistung* auf den *Anteil Silomais an der LF* ausgegangen.

2.1.2 *Rindviehdichte*

Die Silomaisproduktion diente vor Einführung der staatlichen Förderung von NawaRos in der Biogaserzeugung maßgeblich als Fütterungsgrundlage in der Milch- und Rindviehproduktion (KREINS UND GÖMANN 2011). Vor diesem Hintergrund wird von einer positiven Wirkung auf den *Anteil an Silomais an der LF* durch einen Anstieg der Rindviehdichte (Anzahl Rinder/ha LF) (SAEBL 2012) ausgegangen. Um unterschiedliche Fütterungsrationen innerhalb der Regressionsanalyse zu berücksichtigen, wird die Rindviehdichte durch die Parameter *Anzahl Milchkühe* (Anzahl Milchkühe/ha LF) und *Anzahl sonstige Kühe* als Differenz der Anzahl an Rindern und der Anzahl an Milchkühen abgebildet (SAEBL 2012).

2.1.3 *Nachbarschaftsbeziehungen / Räumliche Abhängigkeit*

Die zu untersuchenden Landkreise werden im Rahmen dieser Studie nicht als isolierte Untersuchungseinheiten betrachtet. Es wird angenommen, dass die zu betrachten Zielgröße nicht unabhängig von den Ausprägungen in benachbarten Regionen zu untersuchen ist. Die Hypothese „Der Anteil an Silomais an der LF in einem Landkreis ist nicht unabhängig vom Anteil an Silomais an der LF benachbarter Landkreise“ lässt sich durch Methoden der räumlichen Ökonometrie untersuchen, die in den Kapiteln 2.2 bis 2.2.2 beschrieben werden. Gründe für das Auftreten von räumlicher Dependenz können bei der vorliegenden Fragestellung zum einem durch das MAUP und/oder möglichen überregionalen Silomaishandel begründet sein. Durch eine willkürliche Auflösung funktioneller Einheiten (in diesem Falle Maisanbaugebieten) durch die verwendeten Datensätze und den zugrundeliegenden Verwaltungsgliederungen (Landkreise), kann es zum Auftreten artifizieller räumlicher Autokorrelation der Zielgrößen und/oder deren Residuen in der Regressionsanalyse kommen. (ECKEY et. al 2006; ANSELIN 1988; OPENSHAW 1983).

Des Weiteren ist es denkbar, dass Biogasanlagen an der Grenze von benachbarten Landkreisen operieren. Wird das für den Betrieb der Anlage notwendige Gärsubstrat Silomais im benachbarten Landkreis angebaut und durch überregionalen Handel über die Landkreisgrenze transportiert, kann der *Anteil an Silomais an der LF* mit dem Anteil des benachbarten Landkreises räumlich korreliert sein.

Wir gehen davon aus, dass ohne die Berücksichtigung räumlicher Effekte in Landkreisen, in denen weder Rinderproduktion etabliert ist noch Biogas produziert wird, keine Silomaisproduktion stattfindet und die zu spezifizierenden Regressionsmodelle daher ohne eine Konstante geschätzt werden sollten.

2.1.4 *Interaktionsterme*

Der Einsatz von Silomais in der Biogasproduktion und der Milch- und Rindviehhaltung sowie der damit einhergehende Flächenbedarf soll im Rahmen dieser Studie durch die Regressionsparameter der zu entwickelnden räumlichen Schätzmodelle berechnet werden. Für eine realistische Abschätzung des Einsatzes von Silomais in der Biogasproduktion ist es notwendig, auch den Substrateinsatz weiterer NawaRos sowie von Exkrementen der Milch- und Rindviehproduktion mit in die Regressionsanalyse zu integrieren. Dazu werden zwei Interaktionsterme formuliert. Der Einsatz von Grassilagen in der Biogasproduktion wird durch den Interaktions-

term *installierte Biogasanlagenleistung * Anteil Grünland an der LF* modelliert (BNETZA 2013; SAEBL 2012). Der Einsatz von Rindergülle als Gärsubstrat wird durch den Interaktionsterm *installierte Biogasanlagenleistung * Anzahl Rinder je ha LF* dargestellt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Rindviehdichte auch das Wirtschaftsdüngeraufkommen abbildet. Die hemmende Wirkung eines steigenden Anteils von Grünland an der LF auf den Anteil von Silomais an der LF wird durch den Interaktionsterm *Anteil Grünland an der LF * Anteil Grünland an der LF* modelliert. Die räumliche Konzentration der Milchviehhaltung in Regionen mit erhöhten Grünlandanteilen wird durch den Interaktionsterm *Anzahl Milchvieh je ha LF * Anteil Grünland je ha LF* innerhalb der Regressionsanalyse berücksichtigt.

Die Entwicklung der Schätzmodelle, mögliche Implementierungsansätze räumlicher Effekte in der Regressionsanalyse sowie die Interpretation der Regressionsparameter werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

2.2 Entwicklung des räumlichen Schätzmodells

Eine „klassische“ lineare Regressionsanalyse mit der „Methode der kleinsten Quadrate“ als Schätzer verlangt, dass die Residuen u normal verteilt sind, mit dem Mittelwert 0 und einer gleichbleibenden Varianz σ^2 (WOOLDRIGE 2008: 22 ff.). Diese Annahmen können durch das Vorliegen räumlicher Autokorrelation verletzt werden. Als Konsequenz kann u.a. die Schätzung der Regressionsparameter verzerrt und inkonsistent sein (ANSELIN 1988: 54). Mit Hilfe von Methoden der räumlichen Ökonometrie können räumliche Effekte in die Regressionsanalyse integriert werden. Eine Grundlage für deren Implementierung in das Schätzmodell ist die Abbildung der räumlichen Beziehungen zwischen den Untersuchungsgegenständen (Landkreisen). Dies ist eine Voraussetzung zur Darstellung, inwieweit sich die Ausprägungen der Zielgröße benachbarter Landkreise beeinflussen (PENNERSTORFER 2008: 29). Diese Information wird mit Hilfe einer räumlichen Gewichtungsmatrix (Nachbarschaftsmatrix) dargestellt. Im Rahmen dieser Studie kommt eine Gewichtungsmatrix erster Ordnung zur Anwendung (first-order queen-contiguity).

Im folgenden Kapitel 2.2.1 werden für die Fragestellung möglicherweise „passende“ räumliche Schätzmodelle vorgestellt. Die Interpretation der Regressionsparameter im räumlichen Regressionsmodell wird in Kapitel 2.2.2 dargestellt.

2.2.1 Spezifikation des räumlichen Schätzmodells

Nach ANSELIN (2003: 154) können räumliche Effekte durch die Integration einer räumlich verzögerten Zielgröße (Wy), einer räumlich verzögerten unabhängigen Variablen (WX) und/oder der Integration von räumlich verzögerten Residuen (Wu) in einem Schätzmodell erfasst und abgebildet werden. Sollen räumliche Effekte durch eine räumlich verzögerte Zielgröße und räumlich verzögerte Residuen berücksichtigt werden, kann nach ANSELIN UND FLORAX (1995) und DRUKKER et al. (2011) ein *Spatial Autoregressive Model with Autoregressive Disturbances* (SARAR) gemäß Gleichung 1 formuliert werden. Im folgendem verwenden wir die Notation gemäß DRUKKER et al. (2011).

$$(1) \quad \begin{aligned} y &= \lambda Wy + X\beta + u \\ u &= \rho Mu + \varepsilon \end{aligned}$$

Mit y einem $n \times 1$ Vektor der Beobachtungen der Zielgröße, W und M einer $n \times n$ Gewichtungsmatrix, X einer $n \times k$ Matrix der Einflussgrößen, β einem $k \times 1$ Vektor der Regressionskoeffizienten der Einflussgrößen, λ dem Koeffizient für die räumlich verzögerte Zielgröße, ρ dem räumlich autoregressiven Parameter der räumlich korrelierten Residuen u und ε dem $n \times 1$ Vektor der unabhängigen Störgrößen³. Sollten beide räumlichen Parameter λ und ρ gleich 0

³ Im Rahmen dieser Studie wird in Anlehnung an DRUKKER et al. (2011) für W und M eine identische Gewichtungsmatrix verwendet.

sein, reduziert sich das Modell aus Gleichung 1 zur klassischen linearen Regressionsgleichung gemäß Gleichung 2:

$$(2) \quad y = X\beta + u$$

Im Falle von $\lambda \neq 0$ und $\rho = 0$ wird ein sogenanntes Spatial-Lag-Modell gemäß Gleichung 3 dargestellt:

$$(3) \quad y = \lambda W y + X\beta + u$$

Spatial-Lag-Modelle werden in empirischen Arbeiten zumeist dann angewendet, wenn wie im Falle dieser Studie eine räumliche Abhängigkeit der Zielgröße benachbarter Untersuchungseinheiten vermutet wird und untersucht werden soll (ANSELIN 2001: 316).

Im Falle von $\lambda = 0$ und $\rho \neq 0$ kann ein sogenanntes Spatial-Error-Modell gemäß Gleichung 4 formuliert werden:

$$(4) \quad \begin{aligned} y &= X\beta + u \\ u &= \rho W u + \varepsilon \end{aligned}$$

Diese Form eines räumlichen Modells kann angewendet werden, wenn der verzerrende Einfluss von räumlicher Autokorrelation im Fehlerterm korrigiert werden soll (ANSELIN 2001: 316). Wenn beide räumlich autoregressiven Parameter λ und $\rho \neq 0$ sind, kann das SARAR-Modell gemäß Gleichung 1 dargestellt werden

Unter der Annahme eines homoskedastischen Fehlerterms kann ein SARAR-Modell konsistent durch eine Maximum-Likelihood-Schätzung bestimmt werden (KELEJIAN UND PRUCHA 2010). Dagegen ist der im Rahmen dieser Studie angewandte *generalized spatial two-stage least-squares estimator* (GS2SLS) nach KELEJIAN UND PRUCHA (2010) und DRUKKER et al. (2011) robust gegen unbekannte Formen von Heteroskedastizität⁴.

2.2.2 Interpretation der Regressionskoeffizienten

Im klassischen OLS-Modell repräsentiert der *rte* Regressionskoeffizient, β_r , des Vektors β , die marginale Änderung von y bei einer Änderung der *rten* Einflussgröße x_r der Matrix X . Formal kann diese partielle Ableitung gemäß der Gleichungen 5 und 6 formuliert werden.

$$(5) \quad \frac{\delta y_i}{\delta x_{ir}} = \beta_r \text{ für alle } i, r;$$

und

$$(6) \quad \frac{\delta y_i}{\delta x_{jr}} = 0$$

für $j \neq i$ und alle Einflussgrößen x_r der Matrix X (Lesage und Pace 2009: 34). Im SARAR-Modell ist die abhängige Variable räumlich verzögert (vgl. Gleichung 1). Daher ist die Ableitung aus 6 aufgrund von $\lambda W y$ ausgelösten Rückkopplungseffekten zwischen den Untersuchungseinheiten (Landkreisen) potentiell $\neq 0$. Gleichzeitig kann der marginale Effekt einer Änderung der *rten* Einflussgröße x_r auf y nicht durch den Regressionskoeffizienten β_r erklärt werden (LESAGE UND PACE 2009:35).

So ist es im Kontext dieser Studie denkbar, dass die Änderungen einer Einflussgröße im Landkreis i nicht nur die abhängige Variable y_i des betrachteten Landkreises beeinflusst, sondern auch einen Einfluss auf die abhängige Variable y_j des benachbarten Landkreises hat. LESAGE UND PACE (2009) separieren die Einflüsse von Änderung einer Einflussgröße x_r auf die Zielgröße y in drei getrennte Effekte. Der *Average Total Impact* beschreibt den durchschnittlichen

⁴ Eine anschauliche Anwendung dieses Schätzverfahrens ist HABERMANN UND BREUSTEDT (2011) zu entnehmen. Für eine detaillierte Darstellung des Schätzverfahrens wird auf KELEJIAN UND PRUCHA (2010) verwiesen. Die Schätzung des Modells erfolgt mit dem STATA-Paket *sprege*, welches von DRUKKER et al. (2011) entwickelt wurde.

Einfluss einer simultanen Änderung der Einflussgrößen auf die Zielgröße benachbarter Untersuchungseinheiten. Dagegen beschreibt der *Average Direct Impact* den durchschnittlichen Einfluss einer sequenziellen Änderung der Einflussgrößen auf die Zielgröße der betrachteten Untersuchungseinheiten. Durch die Differenz vom *Average Total Impact* und dem *Average Direct Impact* ist es zudem möglich den *Average Indirect Impact* zu berechnen. Dieser gibt an, wie sich die Zielgröße der betrachteten Untersuchungseinheit im Durchschnitt verändert, wenn alle Einflussgrößen benachbarter Untersuchungseinheiten verändert werden und nur die Einflussgrößen der betrachteten Beobachtung unverändert bleiben⁵. Die dargestellte Unterteilung marginaler Effekte erweitert die Analyse- und Interpretationsmöglichkeiten dieser Untersuchung zur Silomaisproduktion in Deutschland und verdeutlicht die Vorteile räumlicher Regressionsmodelle gegenüber klassischen Regressionsverfahren. Um die durch λ ausgelösten Rückkopplungseffekte bei der Schätzung des Einsatzes von Silomais in der Biogas-, Milch- und Rindviehproduktion und den damit verbundenen Flächenbedarf zu berücksichtigen, wird für deren Berechnung stets der *Average Total Impact* verwendet. Ein anschauliches Berechnungsbeispiel wird im folgenden Kapitel 3 gegeben.

Um unverzerrte und effiziente Schätzergebnisse als Grundlage für die anschließende Analyse zu gewährleisten und Nachbarschaftseffekte zwischen den Landkreisen untersuchen zu können, werden die oben genannten Variablen in unterschiedlichen Modellspezifikationen mit dem vorgestellten SARAR-Modell aus Gleichung 1 geschätzt. Die marginalen Effekte einer Änderung der Einflussgrößen x_r auf y werden gemäß LESAGE UND PACE (2009: 39) berechnet.

3 Ergebnisse und Diskussion

In der folgenden Tabelle 1 werden die Ergebnisse der verschiedenen SARAR-Modelle zusammenfassend dargestellt. Der Parameter *Anlagenleistung* ist in allen geschätzten Modellvarianten positiv und hoch signifikant. Ein empirischer Beleg für die fördernde Wirkung der Biogasproduktion auf den Anteil an Silomais an der LF in Bayern. Der Parameter *Anzahl Milchkuh* weist in den Modellen I, II und VI ein negatives und in den Modellen III, IV und V ein positives Vorzeichen auf. Dies geschieht in Abhängigkeit des zusätzlich integrierten Interaktionsterm *Milchkuh * Grünland*. Dieser ist negativ und hoch signifikant und kann wie folgt interpretiert werden. Zum einen korrigiert er den Parameter *Anzahl Milchkuh* hinsichtlich seiner Wirkungsrichtung auf den *Anteil an Silomais an der LF*. Zum anderen stellt dieser Interaktionsterm dar, dass in Grünlandregionen der Einsatz von Silomais in der Rationsgestaltung auf Grund der natürlichen Standortgegebenheiten begrenzt ist. Zusätzlich bildet er auch die räumliche Verteilung der Milchviehproduktion ab. So ist diese in den südlichen und südwestlichen Landkreisen Bayerns konzentriert. Der räumliche Regressionskoeffizient λ ist in Modellen mit Integration des Interaktionsterms nicht signifikant (III, IV, V) und in Modellen ohne diesen Interaktionsterm hoch signifikant mit Ausprägungen zwischen 0,27 (I) und 0,40 (VI). Somit ist der eingangs formulierte Einfluss von interregionalem Maishandel auf den Anteil von Silomais an der LF durch die Ergebnisse der SARAR Modelle nicht zweifelsfrei darzustellen. Vielmehr erscheint die Anwendung von räumlichen Regressionsmodellen sinnvoll, um die räumliche Verteilung und Struktur der verwendeten Daten abbilden zu können und die Schätzgüte der Modelle zu verbessern. Dies wird auch durch die Betrachtung des räumlichen Regressionskoeffizienten ρ deutlich. Dieser ist in allen Modellspezifikationen signifikant und weist auf fehlende, räumlich korrelierte Variablen innerhalb aller Modellvarianten hin.

Der Parameter *Anzahl sonstige Kuh* ist in allen Modellen positiv und hoch signifikant. Die Darstellung des in Kapitel 2.1.2 vorgestellten Bestimmungsfaktors *Rindviehdichte* durch die Variablen/Parameter *Anzahl Milchkuh* und *Anzahl sonstige Kuh* erscheint zur Abbildung des Einsatzes von Silomais in der Milch- und Rindviehproduktion zielführend. Wünschenswert ist eine noch genauere Abbildung der Rindviehdichte durch eine weitere Differenzierung.

⁵ Für eine ausführliche mathematische Herleitung wird auf LESAGE UND PACE (2009: 33 ff.) verwiesen.

Tabelle 1: Schätzergebnisse SARAR-Modelle (N=71)

Variable	Modell I				Modell II			
	$\hat{\beta}$	Total	Direct	Indirect	$\hat{\beta}$	Total	Direct	Indirect
Anlagenleistung	0,253***	0,350	0,258	0,092	0,273***	0,388	0,279	0,109
Anzahl Milchkühe	-0,094***	-0,130	-0,096	-0,034	-0,083***	-0,117	-0,084	-0,033
Anzahl sonst. Kuh	0,115***	0,159	0,117	0,042	0,107***	0,152	0,110	0,043
Leistung * Grünland	/	/	/	/	-0,080 n.s.	-0,113	-0,081	-0,032
ρ	0,436***	/	/	/	0,385***	/	/	/
λ	0,276***	/	/	/	0,296***	/	/	/

Variable	Modell III				Modell IV			
	$\hat{\beta}$	Total	Direct	Indirect	$\hat{\beta}$	Total	Direct	Indirect
Anlagenleistung	0,225***	0,239	0,225	0,013	0,236***	0,255	0,236	0,018
Anzahl Milchkühe	0,164***	0,174	0,164	0,010	0,123***	0,133	0,124	0,010
Anzahl sonst. Kuh	0,083***	0,088	0,083	0,005	0,095***	0,103	0,095	0,007
Leistung * Grünland	-0,085 n.s.	-0,090	-0,085	-0,005	-0,166**	-0,180	-0,167	-0,013
Milchkühe * Grünland	-0,247***	-0,261	-0,247	-0,014	-0,150***	-0,162	-0,150	-0,012
Grünland ²	/	/	/	/	-0,054**	-0,058	-0,054	-0,004
ρ	0,579***	/	/	/	0,621***	/	/	/
λ	0,056 n.s.	/	/	/	0,073 n.s.	/	/	/

Variable	Modell V				Modell VI			
	$\hat{\beta}$	Total	Direct	Indirect	$\hat{\beta}$	Total	Direct	Indirect
Anlagenleistung	0,201***	0,216	0,201	0,014	0,175***	0,294	0,183	0,111
Anzahl Milchkühe	0,152***	0,163	0,152	0,011	-0,068**	-0,113	-0,070	-0,043
Anzahl sonst. Kuh	0,087***	0,093	0,087	0,006	0,083***	0,138	0,086	0,052
Milchkühe * Grünland	-0,247***	-0,264	-0,247	-0,018	/	/	/	/
Leistung * Grünland	/	/	/	/	-0,248*	-0,416	0,259	-0,157
Leistung * Rind	/	/	/	/	0,115**	0,193	0,120	0,073
ρ	0,571***	/	/	/	0,358**	/	/	/
λ	0,067 n.s.	/	/	/	0,404***	/	/	/

***, **, * signifikant mit $\alpha = 0,001; 0,01; 0,05$, n.s = nicht signifikant

Quelle: Eigene Berechnung.

Die beiden Interaktionsterme *Leistung * Grünland* und *Leistung * Rind* zur Abbildung des Einsatzes von Grassilagen und Rindergülle als Gärsubstrate in der Biogasproduktion zeigen kein einheitliches Bild. So ist der Interaktionsterm *Leistung * Grünland* in der Modellspezifikation II und III nicht signifikant, in der Spezifikationen IV und VI hingegen signifikant. Auffallend ist das negative Vorzeichen in allen Fällen. Durch den energetischen Einsatz von Grassilage und die damit einhergehende Substitution von Maissilagen als Gärsubstrat kann das negative Vorzeichen erklärt werden. Der Interaktionsterm *Leistung * Rind* ist in der Modellspezifikation VI signifikant mit positivem Vorzeichen.

Alle Modellspezifikationen schätzen die Zielgröße *Anteil Silomais an der LF*. Die Regressionsparameter dienen als Grundlage für die in Tabelle 2 zusammenfassend dargestellten weiterführenden Berechnungen zu folgenden Parametern:

- Geschätzter Flächenbedarf Energiemais (in % der LF)
- Geschätzter Flächenbedarf Futtermais (in % der LF)
- Geschätzter Anteil Energiemais (in % der Gesamtproduktion)
- Geschätzter Flächenbedarf Silomais (ha/Rind)

Für die Kalkulation der jeweiligen Parameter werden stets die Koeffizienten des *Average Total Impact* der jeweiligen Regressionsparameter verwendet und für jeden der 71 Landkreise be-

rechnet. Die in Tabelle 2 vorgestellten Werte sind die berechneten Durchschnittswerte für das Bundesland Bayern⁶.

Tabelle 2: Flächenbedarf und energetische Nutzung von Silomais in Bayern 2010

	Flächenbedarf Energiemais	Flächenbedarf Futtermais	Anteil Energiemais	Flächenbedarf Silomais
Modell I	5,52	5,45	50,31	0,053
Modell II	5,55	5,50	50,23	0,053
Modell III	3,31	8,89	27,15	0,086
Modell IV	3,12	9,70	24,33	0,094
Modell V	3,40	8,79	27,91	0,085
Modell VI	6,08	4,74	56,21	0,046
Mittelwert	4,50	7,18	39,36	0,069

Quelle: Eigene Berechnungen. Alle Angaben sind berechnete Durchschnittswert für das Bundesland Bayern

Als Vergleichswerte für eine Plausibilitätsprüfung werden die durchgeführten Berechnungen mit empirischen Daten aus der Landwirtschaftszählung 1999 und der Agrarstrukturerhebung 2003 verglichen. So lag der durchschnittliche Flächenbedarf von Silomais je Rind im Jahr 1999 in Bayern durchschnittlich bei 0,75 ha und im Jahr 2003 bei durchschnittlich 0,76 ha (SAEBL 2012). Da erst mit in Kraft treten der Novellierung des EEG in 2004 der Anreiz für die energetische Nutzung von NawaRos geschaffen wurde, sind die Werte eine vertretbare Benchmark für eine Plausibilitätsprüfung der erzielten Schätzergebnisse. So zeigt sich, dass die Modelle III, IV und V den energetisch genutzten Anteil von Silomais unterschätzen (Flächenbedarf Silomais = 0,086; 0,094; 0,085) und die Modelle a, b und f (Flächenbedarf Silomais = 0,053; 0,053; 0,046) den energetisch genutzten Anteil überschätzen. Bildet man hingegen den Mittelwert aus allen Schätzergebnissen, berechnet sich ein Flächenbedarf von Silomais 0,069 ha je Rind. Somit ist davon auszugehen, dass auch die Mittelwerte des Flächenbedarfs von Energiemais mit durchschnittlich 4,40 %, von Futtermais mit durchschnittlich 7,18 % und einem Anteil von Energiemais gemessen an der Gesamtproduktion von Silomais mit ca. 40 % als realistisch und plausibel anzusehen sind. Daher wird für die weitere graphische Darstellung der Mittelwert der formulierten Modelle gemäß Tabelle 2 verwendet. Die Abbildung 3 stellt für das Bundesland Bayern den geschätzten Anteil von Silomais für die Biogas- und Milch- und Rindviehproduktion und den dafür benötigten Flächenbedarf dar. Zudem ist die Rindviehdichte und die installierte Biogasanlagenleistung dargestellt, um mögliche Konkurrenzbeziehungen diskutieren zu können.

Der Anteil von Silomais für die Biogaserzeugung beträgt gemessen an der Gesamtproduktion schätzungsweise bis zu 65 % in den untersuchten Landkreisen. Gleichzeitig werden dazu bis zu 15 % der verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche für energetische Zwecke in Anspruch genommen. Durch die Darstellung des geschätzten regionalen Einsatzes von Silomais in der Biogaserzeugung und der Verteilung des Rindviehbestandes wird zudem deutlich, dass Nutzungskonkurrenzen zwischen Gärsubstrat und Futtermittel in den westlichen, an Baden-Württemberg angrenzenden Regionen und im Osten in Regionen oberhalb des Bayerischen Waldes auftreten können. In den bayerischen Agrargebieten Alpen und Alpenvorland liegt der Anteil an Silomais gemessen an der Gesamtproduktion unterhalb von 10 %. Somit ist von einer vergleichsweise geringen Konkurrenzbeziehung zwischen Biogasproduktion und traditio-

⁶ Beispielhafte Berechnung für das Modell I:

$$y_1 = \text{Flächenbedarf Energiemais} = 0,350 * \text{Anlagenleistung};$$

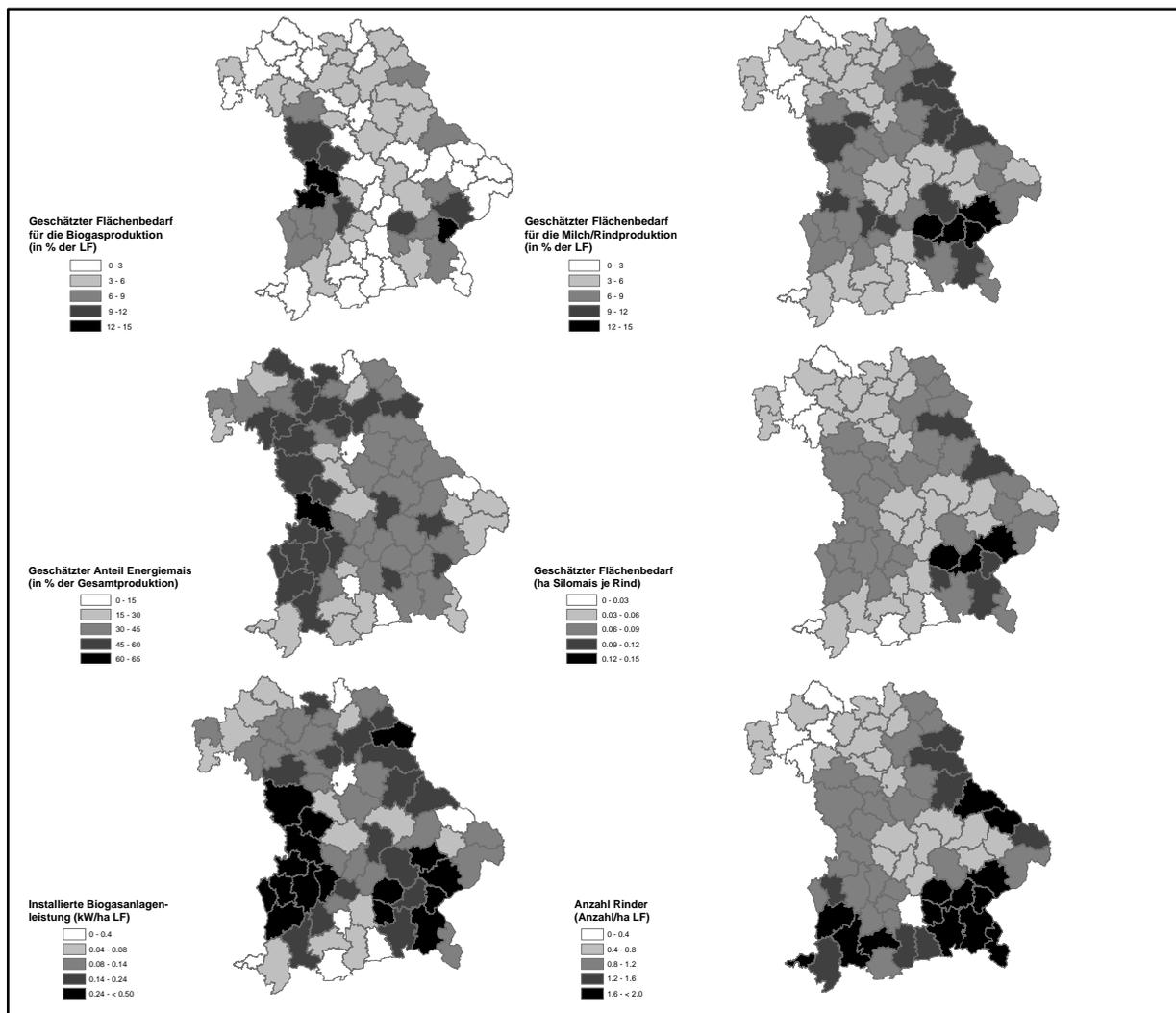
$$y_2 = \text{Flächenbedarf Futtermais} = -0,130 * \text{Anzahl Milchkuh} + 0,159 * \text{Anzahl sonstige Kuh};$$

$$y_3 = \text{Anteil Energiemais} = \frac{y_1}{(y_1+y_2)}; \quad y_4 = \text{Flächenbedarf Silomais} = \frac{y_2}{\text{Rindviehdichte}}$$

In den übrigen Modellen werden die zusätzlich integrierten Regressionsparameter in die Berechnungen aufgenommen.

neller Rinder- und Milchproduktion auszugehen. Langfristig sind durch fortschreitenden Strukturwandel und damit einhergehender Änderung der Produktionsstruktur auch in diesen Regionen Konkurrenzbeziehungen denkbar. Zusammenfassend machen die Ergebnisse der Untersuchung deutlich, dass innerlandwirtschaftliche Nutzungskonkurrenzen und der konzentrierte Einsatz von Silomais als Energiepflanze regional zu betrachten und zu diskutieren sind.

Abbildung 3: Geschätzter Anteil von Silomais und der LF für die Biogasproduktion und die Milch- und Rindviehproduktion, installierte Biogasanlagenleistung und Rindviehdichte in Bayern 2010



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung. Darstellung von installierter Anlagenleistung und Rindviehdichte auf Basis BNETZA 2013 und SAEBL 2012

5 Fazit und Ausblick

Unsere Untersuchungen zeigen, dass zum einen heterogene Standortfaktoren, wie die installierte Biogasanlagenleistung und die Rindviehdichte, aber auch räumliche Effekte bei der Analyse der Bestimmungsfaktoren der Silomaisproduktion eine Rolle spielen und entsprechend berücksichtigt werden sollten. Gerade vor dem Hintergrund einer möglichst unverzerrten Schätzung erscheint die Integration räumlicher Beziehungen sinnvoll und für die vorliegende Fragestellung angemessen. Durch die Ergebnisse dieser Studie kann der weitere Ausbau der Biogasproduktion auf Basis nachwachsender Rohstoffe umfassender bewertet werden. Zudem sollten mögliche Nutzungskonkurrenzen zwischen traditionellen Agrarsystemen und der Biogas-

produktion regional differenziert und auf einem möglichst hoch auflösenden räumlichen Aggregationsniveau betrachtet werden.

Literatur

- ANSELIN, L. (1988): *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht, the Netherlands; Bosten; London: Kluwer Academic Publishers.
- ANSELIN, L. (2001): *Spatial Econometrics*. In: *A Companion to Theoretical Econometrics*. Blackwell Publishers. Oxford: 310-330.
- ANSELIN, L. (2003): *Spatial Externalities, Spatial Multipliers, and Spatial Econometrics*. In: *International Regional Science Review* 26 (2): 153-166.
- ANSELIN, L.; FLORAX, R. (1995): *Small sample properties of tests for a spatial dependence in regression models: Some further results*. In: *New Directions in Spatial Econometrics*. New York: Springer, 75-95.
- ANSELIN, L.; REY, S. (1991): *Properties of Tests for Spatial Dependence in Linear Regression Modells*. In: *Geographical Analysis* 23 (2): 112-131.
- BNETZA (Bundesnetzagentur) (2013): *Jahresendabrechnung Biomasseanlagen 2011*. Persönliche Mitteilung.
- DBFZ (DEUTSCHESBIOMASSEFORSCHUNGSZENTRUM) (2011): *Nachhaltige Biogaserzeugung in Deutschland – Bewertung der Wirkung des EEG*. Endbericht.
- DE WITTE, T. (2012): *Entwicklung eines betriebswirtschaftlichen Ansatzes zur Ex-ante-Analyse von Agrarstrukturwirkungen der Biogasförderung – angewendet am Beispiel des EEG 2009 in Niedersachsen*. In: *Landbauforschung vTI Agriculture and Forestry Research*. Sonderheft 366.
- DRUKKER, D.; PRUCHA, I. R.; RACIBORSKI, R. (2011): *Maximum-likelihood and generalized spatial two-stage least-squares estimators for a spatial-autoregressive model with spatial-autoregressive disturbances*. Working paper, University of Maryland, Department of Economics.
- ECKEY, H.F.; KOSFELD, R.; TÜRCK, M. (2006): *Abgrenzung deutscher Arbeitsmarktregionen*. In: *Raumforschung und Raumordnung* 64 (4): 299-309.
- EMMANN, C.H.; THEUVSEN, L. (2012): *Einfluss der Biogasproduktion auf den regionalen Pachtmarkt – Empirische Erhebung in fünf niedersächsischen Landkreisen mit hoher Anlagendichte*. In: *Berichte über Landwirtschaft (im Druck)*.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2011): *Maisanbau in Deutschland*. URL: www.biogas.fnr.de (Abrufdatum: 28.03.2013).
- FVB (FACHVERBAND BIOGAS E.V.) (2011): *Stellungnahme des Fachverbandes Biogas e.V. zum Hintergrundpapier des NABU Landesverbandes Schleswig-Holstein „Agrargasanlagen und Maisanbau – Eine kritische Umweltbilanz*. URL: [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Stellungnahme_des_Fachverbandes_Biogas_e_V_zum_Hintergrundpapier_des_NABU/\\$file/11-09-30_stn_NABU.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Stellungnahme_des_Fachverbandes_Biogas_e_V_zum_Hintergrundpapier_des_NABU/$file/11-09-30_stn_NABU.pdf) (Abrufdatum: 25.02.2013).
- FVB (FACHVERBAND BIOGAS E.V.) (2012): *Branchenzahlen 2011 und Prognosen der Branchenentwicklung 2012/2013*. URL: http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen (Abrufdatum: 25.02.2013)
- HABERMANN, H.; G., BREUSTEDT (2011): *Einfluss der Biogaserzeugung auf landwirtschaftliche Pachtpreise in Deutschland*. In: *GJAE* 60 (2): 85-100.
- HEYEDEMANN, F. (2011): *Agrargasanlagen und Maisanbau. Eine kritische Umweltbilanz*. <http://schleswig-holstein.nabu.de/imperia/md/content/schleswigholstein/gutachtenstellungen/gutachten/agrogasanlagen-nabu-gutachten.pdf> (Abrufdatum: 25.02.2013).
- ISERMAYER, F.; OTTE, A.; CHRISTEN, O.; DABBERT, S.; FROHBERG, K.; GRABSKI-KIERON, U.; HARTUNG, J.; HEISSENHUBER, A.; HESS, J.; KIRSCHKE, D. SCHMITZ, M.; SPILLER, A.; SUNDRUM, A.; THOROE, C. (2008): *Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung: Empfehlungen an die Politik*. Sonderheft 216 der Berichte über Landwirtschaft. Kohlhammer, Stuttgart.
- KELEJIAN, H. H.; PRUCHA, R. (2010): *Specification and Estimation of Spatial Autoregressive Models with Autoregressive and Heteroskedastic Disturbances*. In: *J. Econom.* 157 (1): 53-67.
- KREINS, P.; GÖMANN, H. (2011): *Historische Entwicklung und Auswirkung der Biogasproduktion in Deutschland*. In: *Nachhaltige Biogaserzeugung in Deutschland – Bewertung der Wirkung des EEG*. Endbericht.
- LEOPOLDINA (DEUTSCHE AKADEMIE DER NATURFORSCHER LEOPOLDINA) (2012): *Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen*. URL: <http://www.leopoldina.org/de/publikationen/detailansicht/?publication%5Bpublication%5D=433> (Abrufdatum: 25.02.2013).
- LESAGE, J. AND PACE, R.K. (2009): *Introduction to Spatial Econometrics*. Boca Raton, USA: Chapman and Hall/CRC.
- MEYER-AURICH, A.; SCHATTAUER, A.; HELLEBRAND, H.; KLAUSS, H.; PLÖCHL, M.; BERG, W. (2012): *Impacts of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources*. *Renewable Energy* 37 (1): 277-284.

- OPENSHAW, S. (1983): The modifiable areal unit problem. In: Concepts and Techniques in Modern Geography 38.
- OSTERBURG, B. (2012): Aggregation deutscher Landkreise. Persönliche Mitteilung.
- PENNERSTORFER, D. (2008): Strategische Interaktion und räumlicher Preiswettbewerb im Treibstoff Einzelhandel. Eine räumlich-ökonomische Analyse. Doctoral thesis. WU Vienna University of Economics and Business. URL: <http://epub.wu.ac.at/1905/> (Abrufdatum: 27.02.2013).
- SAEBL (STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER) (2012): Regionaldatenbank Deutschland. Allgemeine Agrarstrukturerhebung 1999 und Landwirtschaftszählung 2010. URL: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/logon> (Abrufdatum: 25.02.2013).
- SCHOLZ, L.; MEYER-AURICH, A.; KIRSCHKE, D. (2011): Greenhouse gas mitigation potential and mitigation costs of biogas production in Brandenburg, Germany. AgBioForum 14 (3), 133-141.
- THIERING, J.; BAHRS, E. (2011): Biogasproduktion in Deutschland – Sollte die energetische Nutzung von Wirtschaftsdünger explizit gefördert werden? In: German Journal of Agricultural Economics 4: 259-275.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2011): Bioenergie - Datengrundlagen für die Statistik der erneuerbaren Energien und Emissionsbilanzierung. Ergebnisbericht zum Workshop vom Juli 2011. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4251.html> (Abrufdatum: 25.02.2013).
- WOOLDRIDGE, J.M. (2008): Introductory Econometrics: A Modern Approach. 4th revised edition. Cengage Learning Emea. Hampshire.
- ZSCHACHE, U., S. VON CRAMON-TAUBADEL, THEUVSEN, L. (2010): Öffentliche Deutungen im Bioenergiediskurs. In: Berichte über Landwirtschaft 8 (3): 502-512.