

Bestimmungsfaktoren der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion in Deutschland – Eine räumlich-ökonomische Analyse

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum agriculturalarum (Dr. rer. agr.)

eingereicht an der
Lebenswissenschaftlichen Fakultät
der Humboldt-Universität zu Berlin

von
M.Sc. Lukas Scholz

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin
Prof. Dr. Jan-Hendrik Olbertz

Dekan der Lebenswissenschaftlichen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin
Prof. Dr. Richard Lucius

Gutachter

1. Prof. Dr. Dr. h.c. Dieter Kirschke
2. Dr. Andreas Meyer-Aurich
3. Prof. Dr. Christian Lippert

Tag der mündlichen Prüfung: 08.06.2015

Berliner Schriften zur Agrar- und Umweltökonomik

herausgegeben von
Dieter Kirschke, Martin Odening, Harald von Witzke
Humboldt-Universität zu Berlin

Band 22

Lukas Scholz

**Bestimmungsfaktoren der Verteilung und Konzentration
der Biogasproduktion in Deutschland –
Eine räumlich-ökonomische Analyse**

Shaker Verlag
Aachen 2015

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Berlin, Humboldt-Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2015

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3999-3

ISSN 1618-8160

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während einer Anstellung als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB). Für die vielfältige Unterstützung während meiner Promotionszeit möchte ich mich an dieser Stelle bei den Kolleginnen und Kollegen bedanken.

Prof. Dr. Dr. h.c. Dieter Kirschke möchte ich für die langjährige Zusammenarbeit und für die wertvollen Hinweise und Kommentare während der Ausarbeitung der vorliegenden Arbeit danken.

Dr. Andreas Meyer-Aurich hat die Arbeit während meiner Zeit am ATB betreut und mir einen Einblick in die Welt der außeruniversitären Forschung gegeben. Dafür und für die Bereitschaft zu unzähligen informellen Gesprächen „zwischen Tür und Angel“ gilt mein besonderer Dank.

Prof. Dr. Christian Lippert möchte ich für die Bereitschaft zur Übernahme des externen Gutachtens meinen besten Dank aussprechen.

Dr. Astrid Häger, Dr. Julia Christiane Schmid, Kerstin Oertel und Helga Meaini haben mich immer wieder motiviert und zuversichtlich gestimmt. Vielen Dank dafür!

Weiterhin danke ich Julian und Jonas, Basti und Nils, Antonia und Anja und besonders Marcel und Simone, die immer ein offenes Ohr hatten und mich auf meinem Weg bestärkt haben. Vielen Dank!

Meiner Familie möchte ich für die uneingeschränkte Unterstützung danken, die mich stets mit dem Vertrauen auf das Erreichen dieses Zieles begleitet hat.

Lukas Scholz

Berlin, im Januar 2015

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	iii
Inhaltsverzeichnis.....	iii
Abbildungsverzeichnis.....	vi
Tabellenverzeichnis.....	vii
Abkürzungsverzeichnis.....	xi
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielstellung	4
1.3 Vorgehensweise	5
Teil 1: Entwicklung der Biogasproduktion und Erklärungsansätze für deren räumliche Verteilung und Konzentration	
2 Die Biogasproduktion in Deutschland	11
2.1 Grundlagen der Biogasproduktion	11
2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen der Biogasproduktion.....	12
2.3 Entwicklung der Biogasproduktion im Zeitablauf.....	15
3 Standorttheorien.....	19
3.1 Landwirtschaftliche Standorttheorien	19
3.2 Industrielle Standort- und moderne Clustertheorie	22
3.3 Neue Wirtschaftsgeographie und ihre Relevanz für die landwirtschaftliche Standorttheorie.....	26
3.4 Zwischenfazit und Implikationen für einen räumlich-ökonomischen Erklärungsansatz.....	29
4 Ansätze zur Erklärung der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion	33
4.1 Positiv-mathematischer Programmierungsansatz	33
4.2 Agentenbasierte Simulationsmodelle	37
4.3 Investitionsentscheidungsmodelle	39
4.4 Zwischenfazit und Implikationen für einen räumlich-ökonomischen Erklärungsansatz.....	42

Teil 2:	Räumlich-ökonomischer Erklärungsansatz zur Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion, Datengrundlagen und methodische Umsetzung	
5	Räumlich-ökonomischer Erklärungsansatz zur Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion	51
5.1	Theoretischer Erklärungsansatz	51
5.2	Räumliche Einteilung der Untersuchungsregionen	57
5.3	Hypothesen	57
5.3.1	Hypothesen zur installierten Biogasanlagenleistung im Jahr 2011	57
5.3.2	Hypothesen zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der Förderperiode EEG 2004	59
5.3.3	Hypothesen zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der Förderperiode EEG 2009	60
6	Datengrundlagen	63
6.1	Datensätze zur Verteilung der Biogasproduktion in Deutschland	63
6.2	Datensätze zur Erklärung der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion	66
6.3	Datensätze zur räumlichen Abbildung der Untersuchungsregionen	73
6.4	Deskriptive Statistik	73
6.5	Zwischenfazit und Implikation für den räumlich-ökonomischen Erklärungsansatz	75
7	Methoden der räumlichen Ökonometrie	77
7.1	Theoretische Grundlage der räumlichen Ökonometrie	77
7.2	Anwendungsbereiche im agrarökonomischen Kontext	79
7.3	Modelle und Schätzverfahren	85
7.4	Testverfahren	97
7.5	Interpretation der Regressionskoeffizienten	101
Teil 3:	Ergebnisse und Diskussion der explorativen räumlichen Datenanalyse und der räumlich-ökonomischen Analyse der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion	
8	Explorative räumliche Datenanalyse der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion	105
8.1	Relevanz der räumlichen Ökonometrie zur Erklärung der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion in Deutschland im Jahr 2011	105
8.1.1	Globale räumliche Autokorrelation	105
8.1.2	Lokale räumliche Autokorrelation	106

8.2	Relevanz der räumlichen Ökonometrie zur Erklärung der Änderung der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion in Deutschland in der Förderperiode EEG 2004.....	108
8.2.1	Globale räumliche Autokorrelation.....	108
8.2.2	Lokale räumliche Autokorrelation	109
8.3	Relevanz der räumlichen Ökonometrie zur Erklärung der Änderung der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion in Deutschland in der Förderperiode EEG 2009.....	111
8.3.1	Globale räumliche Autokorrelation.....	111
8.3.2	Lokale räumliche Autokorrelation	112
9	Räumlich-ökonometrische Analyse der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion.....	115
9.1	Räumlich-ökonometrische Analyse der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion im Jahr 2011	115
9.1.1	Funktionale Form und OLS-Regression	115
9.1.2	Räumliche Spezifikation	124
9.1.3	Diskussion und Interpretation der Schätzergebnisse	128
9.2	Räumlich-ökonometrische Analyse der Änderung der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion in der Förderperiode EEG 2004.....	134
9.2.1	Funktionale Form und OLS-Regression	135
9.2.2	Räumliche Spezifikation	143
9.2.3	Diskussion und Interpretation der Schätzergebnisse	149
9.3	Räumlich-ökonometrische Analyse der Änderung der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion in der Förderperiode EEG 2009.....	155
9.3.1	Funktionale Form und OLS-Regression	155
9.3.2	Räumliche Spezifikation	161
9.3.3	Diskussion und Interpretation der Schätzergebnisse	165
10	Schlussfolgerungen	175
	Zusammenfassung	179
	Abstract	182
	Literatur	185
	Anhang	199

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1	Verteilung der installierten Biogasanlagenleistung in Deutschland in 2011 (kW je 100 ha LN).....	2
Abbildung 1-2	Änderung der installierten Biogasanlagenleistung innerhalb der EEG-Förderperioden EEG 2000, EEG 2004 und EEG 2009 in Deutschland (kW je 100 ha LN).....	3
Abbildung 2-1	Entwicklung der Anzahl der Biogasanlagen und der installierten Biogasanlagenleistung (MW) in Deutschland (1999-2011).....	15
Abbildung 2-2	Verteilung der installierte Biogasanlagenleistung in Deutschland in den Jahren 2003, 2008 und 2011 (kW je 100 ha LN).....	16
Abbildung 2-3	Änderung der installierten Biogasanlagenleistung innerhalb der EEG-Förderperioden EEG 2000, EEG 2004 und EEG 2009 in Deutschland (kW je 100 ha LN).....	17
Abbildung 3-1	Standortfaktoren landwirtschaftlicher Produktionsstandorte bei kurzzeitiger Betrachtungsweise	21
Abbildung 3-2	Schematische Darstellung der Wirkungsweise von Agglomerationseffekten	23
Abbildung 3-3	Erweiterte Standortfaktoren landwirtschaftlicher Produktionsstandorte bei kurzzeitiger Betrachtungsweise	29
Abbildung 7-1	Nachbarschaft in einem regelmäßigen Raster	90
Abbildung 8-1	LISA-Cluster-Map zur installierten Biogasanlagenleistung 2011 (kW/ha LN) auf Ebene integrierter Landkreise in der Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=301)	107
Abbildung 8-2	LISA-Cluster-Map zur Änderung der installierten Anlagenleistung (kW/ha LN) in der Förderperiode EEG 2004 auf Ebene integrierter Landkreise in der Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=301) ...	110
Abbildung 8-3	LISA-Cluster-Map zur Änderung der installierten Anlagenleistung (kW/ha LN) in Förderperiode EEG 2009 auf Ebene integrierter Landkreise in der Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=301)	112
Abbildung 9-1	Scatterplot der Residuen vs. der gefitteten y-Werte der OLS-Regression zur installierten Biogasanlagenleistung 2011 (kW/ha LN) auf Ebene integrierter Landkreise in der Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=301)	119
Abbildung 9-2	Scatterplot der Residuen der OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der Förderperiode EEG 2004 in der Untersuchungsregion Gesamtdeutschland gegen die gefitteten y-Werte für die Modellspezifikation $y = y^{*0,3}$ (oben) und $y = y^{*0,5}$	139

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1	Identifizierte Bestimmungsfaktoren der Verteilung und Konzentration der Biogasproduktion in Deutschland auf Basis der Literaturanalyse und die erwartete Wirkungsrichtung.....	44
Tabelle 5-1	Identifizierte Bestimmungsfaktoren der Verteilung der Biogasproduktion in Deutschland auf Basis der Literaturanalyse, ausgewählte Proxyvariablen und erwartete Wirkungsrichtung	54
Tabelle 6-1	Verfügbare Datengrundlagen zur Abbildung der entsprechenden Proxyvariablen auf Basis der Agrarstrukturerhebung 2003 und 2007	68
Tabelle 6-2	Im Rahmen der räumlich-ökonomischen Analyse zu untersuchende mögliche Bestimmungsfaktoren der installierten Biogasanlagenleistung im Jahr 2011, zugehörige Proxyvariablen und deren erwartete Wirkungsrichtung	70
Tabelle 6-3	Im Rahmen der räumlich-ökonomischen Analyse zu untersuchende mögliche Bestimmungsfaktoren der Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der EEG-Periode 2004 (2004-2008) und deren erwartete Wirkungsrichtung	71
Tabelle 6-4	Im Rahmen der räumlich-ökonomischen Analyse zu untersuchende mögliche Bestimmungsfaktoren der Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der EEG-Periode 2009 (2009-2011) und deren erwartete Wirkungsrichtung	72
Tabelle 6-5	Deskriptive Statistik der Proxyvariablen (N=301)	74
Tabelle 7-1	Auswahl von räumlich-ökonomischen Studien mit Bezug zur Verteilung landwirtschaftlicher Produktionssysteme.....	80
Tabelle 8-1	Moran's I der installierten Biogasanlagenleistung 2011 (kW/ha LN) auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland	105
Tabelle 8-2	Moran's I der Änderung der installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) in der Förderperiode EEG 2004 auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland.....	108
Tabelle 8-3	Moran's I der Änderung der installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) in der Förderperiode EEG 2009 auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland.....	111

Tabelle 9-1	Ergebnisse der OLS-Regression zur installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) 2011 auf Ebene integrierter Landkreise für die Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=301)	117
Tabelle 9-2	Statistische Prüfgrößen zu den Ergebnissen der OLS-Regression zur installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) 2011 auf Ebene integrierter Landkreise für die Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=301)	118
Tabelle 9-3	Ergebnisse der OLS-Regression zur installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) 2011 auf Ebene integrierter Landkreise für die Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=291)	120
Tabelle 9-4	Statistische Prüfgrößen zu den Ergebnissen der OLS-Regression zur installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) 2011 auf Ebene integrierter Landkreise in der Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=291)	121
Tabelle 9-5	Ergebnisse der OLS-Regression zur installierten Biogasanlagenleistung 2011 (kW/ha LN) auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland.....	123
Tabelle 9-6	Statistische Prüfgrößen zu den Ergebnissen der OLS-Regression zur installierten Anlagenleistung (kW/ha LN) 2011 auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland.....	123
Tabelle 9-7	Globales Moran's I der Residuen der OLS-Regression zur installierten Biogasanlagenleistung 2011 (kW/ha LN) auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland bei unterschiedlichen Gewichtungsmatrizen.....	124
Tabelle 9-8	Ergebnisse der (robusten) LM-Testverfahren zu den Residuen der OLS-Regression zur installierten Biogasanlagenleistung 2011 (kW/ha LN) bei unterschiedlichen Gewichtungsmatrizen	125
Tabelle 9-9	Ergebnisse der räumlichen Regressionsmodelle zur installierten Biogasanlagenleistung 2011 (kW/ha LN) auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord- und Süddeutschland.....	127
Tabelle 9-10	Ergebnisse der OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der Förderperiode EEG 2004 auf Ebene integrierter Landkreise für die Untersuchungsregion Gesamtdeutschland bei unterschiedlichen Transformationen der abhängigen Variable (N=301)	137

Tabelle 9-11	Statistische Prüfgrößen zu den Ergebnissen der OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) in der Förderperiode EEG 2004 auf Ebene integrierter Landkreise für die Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=301)	137
Tabelle 9-12	Ergebnisse der OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der Förderperiode EEG 2004 auf Ebene integrierter Landkreise für die Untersuchungsregion Gesamtdeutschland bei unterschiedlichen Transformationen der abhängigen Variable (N=273)	140
Tabelle 9-13	Statistische Prüfgrößen zu den Ergebnissen der OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) in der Förderperiode EEG 2004 auf Ebene integrierter Landkreise für die Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=273)	140
Tabelle 9-14	Ergebnisse der OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der Förderperiode EEG 2004 auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland	142
Tabelle 9-15	Statistische Prüfgrößen zu den Ergebnissen der OLS-Regression zur Änderung der installierten Anlagenleistung in der Förderperiode EEG 2004 auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland	143
Tabelle 9-16	Globales Moran's I der Residuen der OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der Förderperiode EEG 2004 auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland bei unterschiedlichen Gewichtungsmatrizen	144
Tabelle 9-17	Ergebnisse der (robusten) LM-Testverfahren der Residuen zur OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der Förderperiode EEG 2004 bei unterschiedlichen Gewichtungsmatrizen	145
Tabelle 9-18	Ergebnisse der räumlichen Schätzmodelle zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) in der Förderperiode EEG 2004 auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord- und Süddeutschland	148
Tabelle 9-19	Ergebnisse der OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) in der Förderperiode EEG 2009 auf Ebene integrierter Landkreise für die Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=280)	157

Tabelle 9-20	Statistische Prüfgrößen zu den Ergebnissen der OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) in der Förderperiode EEG 2009 auf Ebene integrierter Landkreise für die Untersuchungsregion Gesamtdeutschland (N=280)	158
Tabelle 9-21	Ergebnisse der OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der Förderperiode EEG 2009 auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland.....	160
Tabelle 9-22	Statistische Prüfgrößen zu den Ergebnisse der OLS-Regression zur Änderung der installierten Anlagenleistung in der Förderperiode EEG 2009 auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland	161
Tabelle 9-23	Globales Moran's I der Residuen der OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der Förderperiode EEG 2009 auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt-, Nord-, Süd- und Ostdeutschland bei unterschiedlichen Gewichtungsmatrizen	162
Tabelle 9-24	Ergebnisse der (robusten) LM-Testverfahren der Residuen zur OLS-Regression zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung in der Förderperiode EEG 2009 bei unterschiedlichen Gewichtungsmatrizen.....	163
Tabelle 9-25	Ergebnisse der räumlichen Schätzmodelle zur Änderung der installierten Biogasanlagenleistung (kW/ha LN) in der Förderperiode EEG 2009 auf Ebene integrierter Landkreise in den Untersuchungsregionen Gesamt- und Norddeutschland	165

Abkürzungsverzeichnis

2SLS	Two stage least squares
ADI	Average direct impact
AIC	Akaike Informationskriterium
AF	Ackerfläche
AGS	Amtlicher Gemeindeschlüssel
All	Average indirect impact
ASE	Agrarstrukturerhebung
ATI	Average total impact
BIC	Bayessches Informationskriterium
BHKW	Blockheizkraftwerk
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
DÜV	Düngeverordnung
EBE	Ernte- und Betriebsberichterstattungen
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
ESDA	Exploratory spatial data analysis
EU	Europäische Union
FGS2SLS	Feasible generalized spatial two stage least squares
FvB	Fachverband Biogas
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GF	Gesamtfläche
GIS	Geoinformationssystem
GMM	General Method of Moments
GS2SLS	Generalized spatial two stage least squares estimator
GVE	Großvieheinheit
LISA	Local indicator of spatial association
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
LM	Lagrange Multiplier
MAUP	Modifiable areal unit problem
Max	Maximum
Min	Minimum
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
OLS	Ordinary least squares
oTM	Organische Trockenmasse
PMP	Positiv-mathematischer Programmierungsansatz

RAUMIS	Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem
SAeBL	Statistische Ämter des Bundes und der Länder
SAR	Spatial autoregressiv model
SDEM	Spatial durbin error model
SDM	Spatial durbin model
SEM	Spatial error model
UBA	Umweltbundesamt
USDA	United States Department of Agriculture
VIF	Variance inflation faktor
WD	Wirtschaftsdüngeraufkommen