



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.*

**DER BEITRAG ERNEUERBARER ENERGIEN ZUM KLIMASCHUTZ
– EINE ÖKONOMISCH-ÖKOLOGISCHE ANALYSE FÜR DIE LAND-
WIRTSCHAFT VON NIEDERSACHSEN**

Elisabeth Angenendt, Steffen Triebe und Jürgen Zeddies

Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410B), Universität Hohenheim



*Paper prepared for presentation at the 47th annual conference of the GEWISOLA
(German Association of Agricultural Economists) and the 17th annual conference of the
ÖGA (Austrian Association of Agricultural Economists),
'Changing Agricultural and Food Sector',
Freising/Weihenstephan, Germany, September 26-28, 2007*

Copyright 2007 by authors. All rights reserved. Readers may make verbatim copies of this document for non-commercial purposes by any means, provided that this copyright notice appears on all such copies.

DER BEITRAG ERNEUERBARER ENERGIEN ZUM KLIMASCHUTZ – EINE ÖKONOMISCH-ÖKOLOGISCHE ANALYSE FÜR DIE LAND- WIRTSCHAFT VON NIEDERSACHSEN

Elisabeth Angenendt, Steffen Triebe, Jürgen Zeddies¹

Zusammenfassung

Die Landwirtschaft kann durch die Produktion von Biomasse einen positiven Beitrag zu den nationalen Klimaschutzzielen leisten. Eine Analyse mit dem ökonomisch-ökologische Regionalmodell EFEM (Economic Farm Emission Model) hat gezeigt, dass durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe und die alternative Verwendung von Getreidestroh sowie durch weitere Managementmaßnahmen bei der Pflanzenproduktion die Treibhausgasemissionen in Niedersachsen gegenüber dem Referenzjahr um bis zu 60 % reduziert und die landesweiten Deckungsbeiträge um rund 7,2 % (140 €/ha) gesteigert werden können.

Keywords

Substitutionspotenzial, Einkommenseffekte, Regionalmodell

1 Einleitung und Zielsetzung

Der zunehmende Verbrauch fossiler Rohstoffreserven führt zu einem Anstieg der Treibhausgasemissionen. Durch die daraus resultierende Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur sind Strategien zur Senkung dieser Emissionen wichtiger Bestandteil einer nachhaltigen Energie- und Umweltpolitik geworden und zählen zu den größten globalen Umweltherausforderungen der nächsten Jahrzehnte. Neben verschiedenen Managementmaßnahmen im Ackerbau kann vor allem durch den Energiepflanzenanbau auf landwirtschaftlichen Flächen und die damit verbundene Substitution fossiler Energien ein entscheidender Beitrag zur Senkung der Treibhausgasemissionen geleistet werden.

Am Beispiel des Bundeslandes Niedersachsen sollen verschiedene Minderungsmaßnahmen aufgezeigt werden. Dabei werden folgende Ziele verfolgt:

- Modellierung der betriebsbedingten und bodenbürtigen Treibhausgase (N₂O, CH₄, CO₂) auf Ebene der Regierungsbezirke unter Berücksichtigung unterschiedlicher Standortbedingungen und Betriebsstrukturen
- Ermittlung des Potenzials landwirtschaftlich genutzter Böden als Kohlenstoffsinken
- Quantifizierung der durch die Substitution fossiler Energien möglichen Treibhausgasminderungen
- Mit Hilfe der Ergebnisse sollen Minderungsmaßnahmen nach Effektivität und Effizienz bewertet werden

¹ Dr. Elisabeth Angenendt, Dr. Steffen Triebe, Prof. Dr. Drs. h.c. Jürgen Zeddies, Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, 70593 Stuttgart, angenend@uni-hohenheim.de

2 Modellierung mit dem ökologisch-ökonomischen Regionalmodell EFEM

Um verschiedene Vermeidungsstrategien beurteilen zu können, wird das ökonomisch-ökologische Regionalmodell EFEM (Economic Farm Emission Model) verwendet. Hierbei wird der Ausstoß der in der gesamten Produktionskette verursachten Klimagase N_2O , CH_4 und CO_2 sowohl auf Ebene typischer Betriebsysteme als auch in regionalem Maßstab abgebildet. EFEM wurde im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben eingesetzt und dabei kontinuierlich, der Fragestellung entsprechend, weiter entwickelt. Als Ausgangsmodell diente das ökonomisch-ökologische Regionalmodell von KAZENWADEL (1999). Für den hier vorgestellten Beitrag wurde EFEM um wichtige Modellteile zur Abschätzung der Kohlenstoffakkumulation in und auf landwirtschaftlich genutzten Böden erweitert (TRIEBE, 2007). Zur Abschätzung der Anreicherung von Kohlenstoff in Böden bei der Umstellung von wendender zu pflugloser Bodenbearbeitung wurden die in den IPCC-Richtlinien zu „land-use change & forestry“ (IPCC, 2003) ausgewiesenen Faktoren verwendet. Die Einhaltung einer ausgeglichenen Humusbilanz wurde nach den Vorgaben der EU-Verordnung 1782/2003 „*Cross Compliance*“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2003) in das Modell integriert.

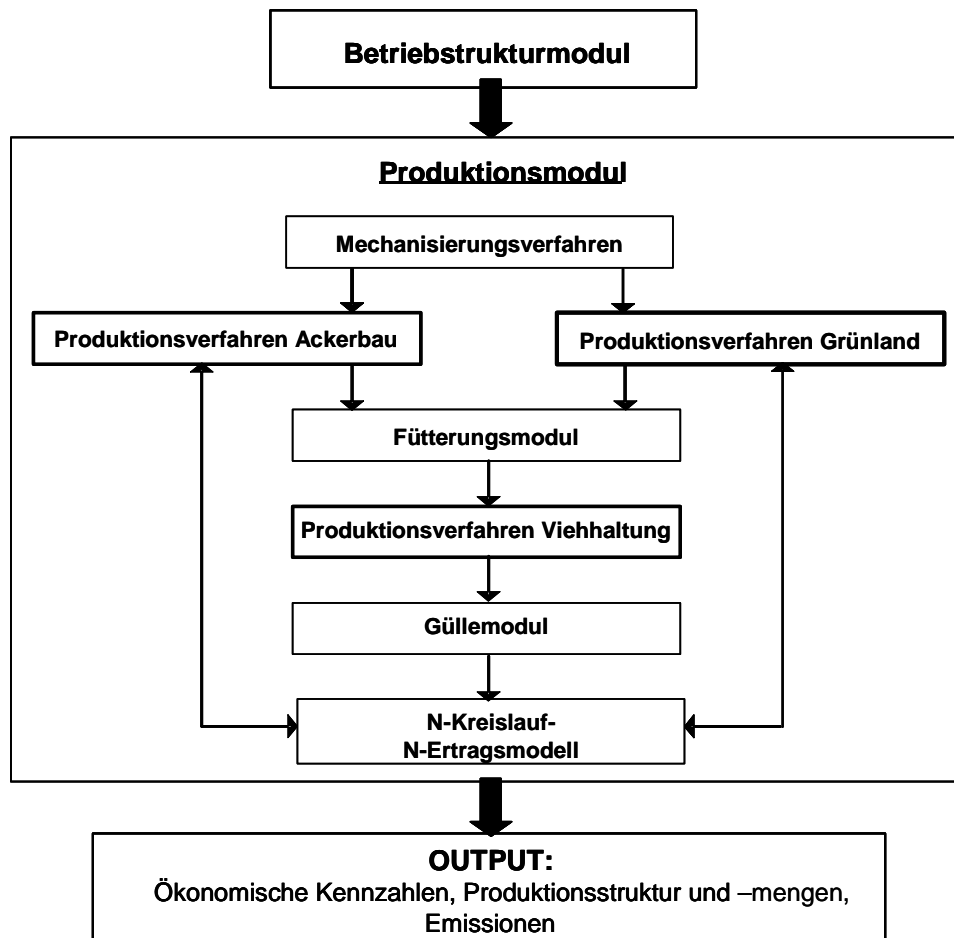
Das Modell basiert auf statisch linearer Programmierung (LP) und ist ein Angebotsmodell. Die Preise für Input- und Outputfaktoren sind dabei exogen vorgegeben. Ebenso die Kapazitätsgrenzen der im Modell abgebildeten Betriebe (vgl. Abschnitt Betriebsstrukturmodul).

Kernstück von EFEM ist das **Produktionsmodul**. Hiermit werden die für die deutsche Landwirtschaft wichtigsten Produktionsverfahren der Tier- und Pflanzenproduktion abgebildet (vgl. Abbildung 1). Diese lassen sich hinsichtlich Erträgen, Intensitäten, Leistungen und Kosten regional unterscheiden. Insgesamt sind 14 verschiedene Ackerbaukulturen berücksichtigt: Winter- und Sommerweizen, Winter- und Sommergerste, Hafer, Roggen, Winterraps, Zuckerrüben, Kartoffeln, Ackerbohnen, Sonnenblumen, Körner- und Silomais sowie Klee gras. Zusätzlich sind mehrere Stilllegungsvarianten formuliert.

Die Grünlandbewirtschaftung wird durch vier verschiedene Bewirtschaftungssysteme Weide, Heu- und Silagenutzung sowie Grünfütterung unterschieden, die jeweils verschiedene Nutzungsintensitäten aufweisen. Bei der Tierproduktion wird die Milchviehhaltung, incl. Färsen zur Bestandsergänzung, weibliche und männliche Kälber, Bullenmast, Mutterkuhhaltung, Schafhaltung, die Veredlungsproduktion mit dem Produktionsschwerpunkt Schweinehaltung (Schweinmast und Zuchtsauen) und die Geflügelhaltung (Legehennenhaltung und Masthähnchenproduktion) abgebildet. Die ökonomischen Kennzahlen wurden an das Referenzjahr 2003 nach KTBL (2004/05) und SAUER et al. (2004) angepasst.

Im **Produktionsmodul** sind auch die Komponenten zur Ermittlung der produktionsbedingten Emissionen integriert. Dabei werden die erwarteten Treibhausgasemissionen nach verschiedenen Produktionsbereichen unterschieden. Demnach wird das Aufkommen klimarelevanter Gase je nach Entstehungsort dem vorgelagerten Bereich, der Landwirtschaft und dem nachgelagerten Bereich zugeordnet (vgl. Abbildung 2). Der vorgelagerte Bereich umfasst die bei der Düngemittelproduktion entstehenden N_2O - und CO_2 -Emissionen. Außerdem werden die bei der Herstellung von Saatgut, Pflanzenschutz- und Futtermitteln entstehenden CO_2 -Emissionen berücksichtigt.

Abbildung 1: Aufbau des EFEM-Modells

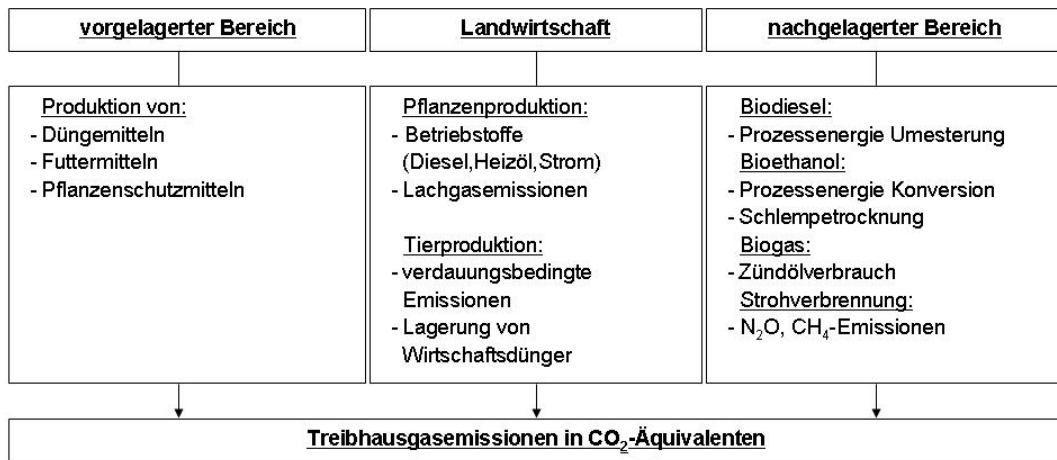


Der Landwirtschaft werden die direkten N_2O -Emissionen aus dem Boden (Düngung) und die bei der Lagerung und der Ausbringung von Wirtschaftsdünger verursachten N_2O -Emissionen angerechnet. Weiterhin sind die indirekten N_2O -Emissionen durch Leaching (Auswaschung) und Runoff (Oberflächenabfluss) sowie durch atmosphärische Deposition gasförmiger Stickstoffverbindungen berücksichtigt. Methan aus landwirtschaftlichen Quellen wird hauptsächlich durch ruminale Fermentation im Pansen, aber auch durch die Lagerung von Wirtschaftsdünger freigesetzt. Kohlendioxid wird durch den Verbrauch von Energieträgern emittiert.

Die zusätzlich zur Bereitstellung nachwachsender Rohstoffe benötigten Energieaufwendungen werden dem nachgelagerten Bereich zugerechnet. Dieser umfasst zum einen die verursachten CO_2 -Emissionen bei der Produktion von Biodiesel und Bioethanol. Die entstehenden CO_2 -Emissionen beim Betrieb von Biogasanlagen, sowie die emittierten CH_4 - und N_2O -Emissionen bei der Verbrennung von Stroh werden ebenfalls diesem Bereich zugeteilt. Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Emissionsfaktoren ist in Angenendt (2003) und SCHÄFER (2006) zu finden.

Die durch den Substitutionseffekt nachwachsender Rohstoffe vermiedenen Emissionen und die CO_2 -Festlegung im Boden werden keinem der drei untersuchten Bereiche direkt angerechnet, sondern abschließend in der Gesamtbilanz ausgewiesen.

Abbildung 2: Differenzierung der Treibhausgasemissionen nach Entstehungsbereichen



Mit Hilfe des Teilmodells **Betriebstruktur** lassen sich alle für die Untersuchungsregionen bedeutenden Betriebstypen abbilden. Als Datenbasis zur Identifizierung dieser regionaltypischen Betriebsmodelle wurden die für das Referenzjahr 2003 vorliegenden einzelbetrieblichen Buchführungsabschlüsse der Testbetriebe Niedersachsens, untergliedert nach Regierungsbezirken, ausgewertet. Die Einteilung der typischen Betriebe erfolgt nach Betriebstypen anhand der EU-Klassifizierung. Durch die Verknüpfung der beiden Teilmodule „Produktion“ und „Betriebsstruktur“ erhält man monetäre Erfolgsgrößen wie den betrieblichen Deckungsbeitrag, den Faktoreinsatz, Struktur und Mengen der landwirtschaftlichen Produktion sowie die hierbei entstehenden Treibhausgasemissionen.

Für die Projektion der einzelbetrieblichen Ergebnisse auf die regionale Ebene, wurde das von KAZENWADEL (1999) entwickelte **Hochrechnungsmodul** verwendet. Hierbei werden mit Hilfe eines linearen Optimierungsansatzes die Hochrechnungsfaktoren der ausgewählten typischen Betriebe berechnet. Bei dieser Vorgehensweise werden die regionalen Kapazitäten, die der landwirtschaftlichen Regionalstatistik entnommen wurden, als Vektor dargestellt, der als Linearkombination der Vektoren der einzelbetrieblichen Kapazitäten abgebildet werden soll (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK, 2004). Durch den Optimierungsansatz wird die Summe der absoluten Unter- und Überschätzungen der einzelnen Kapazitäten minimiert. Um zu gewährleisten, dass Kapazitäten, die für die betrachtete Region von untergeordneter Bedeutung sind, nicht überschätzt werden, wird jede erfasste Kapazität mit ihrem jeweiligen Standarddeckungsbeitrag gewichtet. Der Modellansatz lässt sich für i Kennzahlen und j Betriebe wie folgt darstellen: es sollen die Variablen $x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_n, z_1, z_2, \dots, z_n$ so bestimmt werden, dass sich für die Funktion

$$B = \sum_{i=1}^m c_i \times y_i + \sum_{i=1}^m d_i \times z_i \quad (1 = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

unter den Bedingungen:

$$r_j = \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \times x_j \right) + y_i - z_i \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$\text{und} \quad x_i \geq 0, y_i \geq 0, z_i \geq 0 \quad (3)$$

ein Minimum ergibt.

mit:	B	Summe des Betrages der Abweichungen
	c_i, d_i	Zielfunktionswerte
	r_i	regionale Faktorkapazitäten
	x_j	Hochrechnungsfaktoren (Anzahl der Betriebe)
	y_i, z_i	Unterschätzungen, Überschätzungen
	a_{ij}	einzelbetriebliche Kennzahlen

Als Ergebnis erhält man also zum einen die Hochrechnungsfaktoren (x_j) für die typischen Betriebsmodelle auf die Region und zum anderen die Abweichung der hochgerechneten Kapazitäten, d.h. die Summe der Produkte der jeweiligen einzelbetrieblichen Kapazitäten mit dem jeweiligen Hochrechnungsfaktor, von den regionalen Kapazitäten (y_i, z_i). Die ermittelten Unter- bzw. Überschätzungen einzelner Kapazitäten werden kompensiert, indem die einzelbetrieblichen Kapazitäten so verändert werden, dass die hochgerechneten Kennzahlen der modifizierten Betriebe mit den Regionskennzahlen konsistent sind.

Dieser Hochrechnungsansatz und die im Modell integrierten Fruchtfolgerestriktionen dienen zur Kalibrierung der Referenzsituation. Die mit EFEM für das Referenzjahr 2003 modellierten wichtigsten Produktionskapazitäten stimmen sehr gut mit den Daten der landwirtschaftlichen Statistik von Niedersachsen überein (vgl. Tabelle 1). Lediglich bei der Mastbullenhaltung kommt es zu höheren Abweichungen (- 15,7 %).

Tabelle 1: Vergleich der mit EFEM modellierten Produktionskapazitäten mit den statistischen Daten für Niedersachsen von 2003

	Abweichung
Landwirtschaftlich genutzte Fläche	0,15 %
Ackerland	0,35 %
Grünland	-1,58 %
Milchkühe	-2,80 %
Mutterkühe	-1,00 %
Mastbullen	-15,70 %
Zuchtfärsen	-0,10 %
Mastschweine	0,00 %
Zuchtsauen	0,00 %
Legehennen	0,00 %
Masthähnchen	0,00 %
Schafe	-0,70 %

Auch die Ackernutzung wird vergleichsweise gut modelliert (vgl. Tabelle 2). So sind die Abweichungen zur Statistik im Getreide- und Hackfruchtanbau sehr gering. Der Anbau von Silomais wird in der Referenzsituation allerdings unter- und der Anbau von Ölfrüchten überschätzt.

Tabelle 2: Vergleich der im Modell ermittelten Ackerflächennutzung in Niedersachsen mit der Statistik von 2003

	Modell	Statistik
Wintergetreide	41,6 %	42,9 %
Sommergetreide ¹⁾	14,0 %	13,5 %
Hackfrüchte	14,1 %	13,2 %
Leguminosen	4,2 %	0,4 %
Silomais	6,9 %	12,8 %
Ackerfutter	2,1 %	0,1 %
Ölsaaten	10,0 %	4,9 %
Sonstiges	0,0 %	3,3 %
Stilllegung	7,1 %	8,9 %

¹⁾ inklusive Körnermais

3 Ergebnisse

3.1 Treibhausgasemissionen in der Referenzsituation

Zur Simulation einer Referenzsituation wurden die Produktionsdaten für das Jahr 2003 aus diversen Quellen abgeleitet. Um die untersuchten Vermeidungsstrategien hinsichtlich ihrer Effektivität und Effizienz ohne den Einfluss agrarpolitischer Gegebenheiten beurteilen zu können, erfolgt eine Projektion dieser Daten auf das Jahr 2013. Alle nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich also auf dieses Jahr.

In Niedersachsen werden landesweit Treibhausgasemissionen von 6 257 kg CO₂-Äquivalente pro Hektar errechnet (vgl. Tabelle 3). Für den Regierungsbezirk Weser-Ems, der durch die höchste Viehdichte und auch den höchsten Deckungsbeitrag je Hektar gekennzeichnet ist, werden mit 8 719 kg CO₂-Äquivalenten pro Hektar auch die höchsten Emissionen ermittelt. Mit 3 831 kg CO₂-Äquivalenten pro Hektar sind dagegen in der Ackerbauregion Braunschweig die wenigsten Treibhausgase zu erwarten. Die ausgewiesene Treibhausgasbilanz zeigt auch, dass ca. 70 % dieser Emissionen dem eigentlichen Bereich „Landwirtschaft“ zuzurechnen sind.

Berücksichtigt man die modellierten Kohlenstoffsenken, die derzeit in den nationalen Treibhausgasinventaren noch nicht berücksichtigt werden, so reduzieren sich die durch die gesamte Produktionskette verursachten Treibhausgasemissionen in der Referenzsituation bis zu knapp 1 700 kg CO₂-Äquivalenten pro Hektar.

Tabelle 3: Treibhausgasemissionen der untersuchten Regierungsbezirke für 2013

	Einheit	Braunschweig	Hannover	Lüneburg	Weser-Ems	Niedersachsen
Fläche	ha	383045	489082	806956	935655	2614737
Viehbesatz	GV/ha	0,25	0,58	0,85	1,53	0,95
Deckungsbeitrag	€/ha	835	1443	1722	2429	1793
Treibhausgasemissionen ¹⁾						
Vorgelagerter Bereich (VB)	kg CO ₂ -Äqui./ha	1197	1357	1007	2388	1595
Landwirtschaft (LW)	kg CO ₂ -Äqui./ha	2615	3533	4352	6321	4649
Nachgelagerter Bereich (NB)	kg CO ₂ -Äqui./ha	20	17	13	10	14
Gesamtemission	kg CO ₂ -Äqui./ha	3831	4908	5372	8719	6257
Kohlenstoffsenke (KSS)	kg CO ₂ -Äqui./ha	-897	-1174	-701	-1673	-1166
Saldo	kg CO ₂ -Äqui./ha	2934	3733	4671	7047	5091

¹⁾ Berechnet nach dem Global Warming Potential der Einzelgase für 100 Jahre

3.2 Treibhausgasreduktion durch nachwachsende Rohstoffe

In den Szenarien wird die Möglichkeit eröffnet, für die ausgewählten Bereiche Biogas-, Biodiesel- und Bioethanolproduktion die hierfür erforderlichen Rohstoffe anzubauen und zu verkaufen. Hierfür stehen als Fruchtarten Silomais, Grasgemenge, Winterraps, Winterweizen und Winterroggen zur Verfügung. Zusätzlich wird die Verwendung des Getreidestrohs, unter Einhaltung der Cross Compliance Verpflichtungen, als Brennstoff untersucht. Nach den Ergebnisse von HENZE und ZEDDIES (2007) können im projizierten Referenzjahr 2013 auf etwas mehr als 40 % der LF in Deutschland Bioenergieträger angebaut werden, ohne dass der Selbstversorgungsgrad für Nahrungsmittel in Deutschland beeinträchtigt würde. In den nachfolgenden Szenarien kann die Produktion von Bioenergieträgern in Stufen auf bis zu maximal 30 % ausgedehnt werden.

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe auf Ackerflächen wird mit einer Energiepflanzenprämie in Höhe von 45 €/ha gefördert. Für die angewandten Bodenbearbeitungsverfahren und den Zwischenfruchtanbau gelten keine Restriktionen. Die im Rahmen des Niedersächsischen Agrar- Umweltprogramms zur Verfügung gestellten finanziellen Förderungen werden im Modell berücksichtigt (NAU, 2003). Bei der Erstellung der Treibhausgassalden werden die durch CO₂-Festlegung im Boden und aufgrund der Substitution fossiler Energien durch nachwachsende Rohstoffe vermiedenen Emissionen von den durch die Landbewirtschaftung verursachten Emissionen abgezogen.

Tabelle 4 zeigt, dass unter den getroffenen Annahmen in den Untersuchungsregionen Braunschweig und Hannover die Verringerung der Treibhausgasemissionen gegenüber der Referenzsituation am stärksten ist. Bereits bei der Verwendung von 10 % der Ackerfläche für die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen kommt es in der Region Braunschweig zu einer Emissionsreduktion um 100 %. Um dagegen im Regierungsbezirk Hannover die Salden der Treibhausgase aus der Referenzsituation im gleichen Maß reduzieren zu können, müssen dort 30 % der Ackerfläche für die Produktion von Energiepflanzen zur Verfügung gestellt werden. Durch die Energiepflanzenproduktion auf bis zu 30 % der Ackerflächen werden in der Region Braunschweig 818 kg CO₂-Äquivalente und in der Region Hannover 230 kg CO₂-Äquivalente pro Hektar mehr an Treibhausgasen vermieden als gleichzeitig entstehen. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Kohlenstoffsенке Boden durch die verschiedenen Szenarien gegenüber der Referenzsituation nicht verändert wird, d.h. eine Ausdehnung der Flächen mit reduzierter Bodenbearbeitung findet durch den vermehrten Anbau von nachwachsenden Rohstoffen nicht statt.

Tabelle 4: Regionale Treibhausgassalden für die Untersuchungsregionen für das Jahr 2013 unter den Annahmen des Szenarios Biogas/Biodiesel/Bioethanol/Stroh)

	Braunschweig				Hannover				Lüneburg				Weser-Ems				Niedersachsen			
	maximal für NaWaRo vorgesehene Ackerflächenanteile				maximal für NaWaRo vorgesehene Ackerflächenanteile				maximal für NaWaRo vorgesehene Ackerflächenanteile				maximal für NaWaRo vorgesehene Ackerflächenanteile				maximal für NaWaRo vorgesehene Ackerflächenanteile			
	Stilll. ¹⁾	10 %	20 %	30 %	Stilll. ¹⁾	10 %	20 %	30 %	Stilll. ¹⁾	10 %	20 %	30 %	Stilll. ¹⁾	10 %	20 %	30 %	Stilll. ¹⁾	10 %	20 %	30 %
Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten pro ha – vorgelagerter Bereich (VB)																				
Summe THGE ²⁾ VB (GWP ³⁾ 100)	1 360	1 359	1 360	1 359	1 530	1 531	1 553	1 572	1 128	1 158	1 154	1 155	2 467	2 470	2 416	2 459	1 716	1 727	1 711	1 730
Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten pro ha – Landwirtschaft (LW)																				
Summe THGE LW (GWP 100)	2 744	2 742	2 735	2 733	3 582	3 580	3 557	3 554	4 442	4 427	4 413	4 412	6 325	6 331	6 336	6 323	4 706	4 703	4 695	4 689
Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten pro ha – nachgelagerter Bereich (NB)																				
Summe THGE NB (GWP 100)	245	283	447	613	264	293	432	560	163	186	260	345	193	215	309	387	205	231	337	439
Gesamtemissionen in kg CO₂-Äquivalenten pro ha																				
Summe THGE Gesamt (GWP 100)	4 349	4 384	4 542	4 705	5 376	5 404	5 542	5 686	5 733	5 771	5 828	5 912	8 986	9 017	9 061	9 169	6 627	6 661	6 743	6 858
Veränderung zur Referenz	+518	+553	+711	+874	+468	+496	+634	+778	+361	+399	+456	+540	+267	+298	+342	+450	+370	+404	+486	+601
vermeidene Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten pro ha																				
Summe KSS ⁴⁾ (GWP 100)	-4 239	-4 387	-4 963	-5 523	-4 839	-4 959	-5 489	-5 916	-3 037	-3 163	-3 444	-3 732	-4 385	-4 470	-4 772	-5 021	-4 032	-4 146	-4 524	-4 864
davon KSS "Boden"	-1 096	-1 088	-1 074	-1 068	-1 161	-1 151	-1 127	-1 123	-774	-722	-712	-710	-1 530	-1 528	-1 521	-1 520	-1 164	-1 144	-1 132	-1 130
davon KSS "NaWaRo"	-3 143	-3 298	-3 889	-4 455	-3 678	-3 808	-4 362	-4 794	-2 263	-2 442	-2 732	-3 022	-2 855	-2 943	-3 252	-3 501	-2 868	-3 002	-3 392	-3 735
Veränderung zur Referenz ⁵⁾	-3 342	-3 490	-4 066	-4 626	-3 665	-3 785	-4 315	-4 742	-2 336	-2 462	-2 743	-3 031	-2 712	-2 797	-3 099	-3 348	-2 866	-2 980	-3 358	-3 698
Gesamtsaldo in kg CO₂-Äquivalenten pro ha																				
Saldo GWP (100)	109	-3	-421	-818	537	445	53	-230	2 696	2 608	2 384	2 180	4 601	4 546	4 289	4 148	2 595	2 514	2 219	1 994
Veränderung zur Referenz in %	-96,3	-100,1	-114,3	-127,9	-85,6	-88,1	-98,6	-106,2	-42,3	-44,2	-49,0	-53,3	-34,7	-35,5	-39,1	-41,1	-49,0	-50,6	-56,4	-60,8

¹⁾ Stilllegungsflächen: nach Stilllegungssatz für 2005 (BMVEL 2005) ²⁾ Treibhausgasemissionen ³⁾ Global Warming Potential ⁴⁾ Kohlenstoffsенke ⁵⁾ bezogen auf Summe KSS (GWP 100)

Landesweit lassen sich die saldierten Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft aus der Referenzsituation durch die Einsparung von bis zu 8,1 Mio. Tonnen an CO₂-Äquivalenten um rund 60 % senken. Die gesamten CO₂-Emissionen Niedersachsens (73,4 Mio. Tonnen) würden sich somit um rund 11 % verringern.

3.3 Substitution fossiler Energien durch den Anbau von Energiepflanzen

Bei der ausschließlichen Nutzung von Stilllegungsflächen für die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen werden in Niedersachsen rund 134 500 ha Wintergetreide für die Ethanolherstellung angebaut (vgl. Tabelle 5). Mit zunehmenden Flächenanteilen ist ebenfalls Wintergetreide die dominierende Kultur. Regional werden zwischen 56 % und 95 % der zur Verfügung stehenden NaWaRo-Flächen mit Ethanolgetreide bestellt. In Abhängigkeit von den jeweiligen Rahmenbedingungen werden in Niedersachsen auf einer Ackerfläche von insgesamt 1,82 Mio. ha höchstens 498 000 ha nachwachsende Rohstoffe angebaut, d.h. die maximal zur Verfügung gestellte Ackerfläche von 30 % wird nicht vollkommen ausgeschöpft. Auf dieser Fläche stehen rund 410 500 ha Wintergetreide zur Ethanolherstellung zur Verfügung. Weiterhin wird auf ca. 50 000 ha Winterraps für die Herstellung von Biodiesel und auf rund 36 700 ha Silomais als Koferment für Biogasanlagen erzeugt. Landesweit wird von rund 77 %, in der Region Weser-Ems sogar von über 90 % der Getreideflächen das anfallende Stroh abgefahren. In Abhängigkeit von den jeweiligen Rahmenbedingungen stehen in Niedersachsen bis zu 6,4 Mio. t Stroh als Festbrennstoff zur Verfügung.

Tabelle 5: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Niedersachsen

	Max. Anbaufläche für NAWARO			
	Stilllegungsflächen	10 %	20 %	30 %
Anbaufläche in Tsd. ha				
NaWaRo gesamt	134,5	181,0	352,7	497,5
davon Winterraps	0,0	8,6	40,0	50,4
davon Silomais	0,0	12,0	33,8	36,7
davon Grasgemenge	0,0	0,0	0,0	0,0
davon Wintergetreide	134,5	160,4	278,9	410,5

1) Stilllegungsflächen: nach Stilllegungssatz für 2005 (BMVEL 2005)

Ein Überblick über die durch die landwirtschaftliche Produktion mögliche Substitution fossiler Energien gibt Tabelle 6. Hierbei zeigt sich, dass durch die Abwärmenutzung von Biogasanlagen und durch die energetische Nutzung von Stroh rund 2,1 Mio. t an Heizöl substituiert werden können. Dies entspricht bezogen auf das Jahr 2003, einem Anteil von rund 90 % des jährlichen Heizölverbrauchs (2,3 Mio. t) in Niedersachsen. Durch den Einsatz von Bioethanol im Kraftstoffsektor werden bis zu 572 000 t fossiler Benzinkraftstoff ersetzt. Weiterhin bestehen Potenziale zur Einsparung von Dieselkraftstoff in Höhe von ca. 47 000 t (vgl. Tabelle 6). Die Stromerzeugung durch Biogasanlagen beträgt maximal 491 GWh.

Tabelle 6: Substitution fossiler Energien durch nachwachsende Rohstoffe in Niedersachsen

	Max. Anbaufläche für NAWARO			
	Stilllegungsflächen	10 %	20 %	30 %
substituierte Menge in Tonnen				
Dieselmotorkraftstoff	0	8001	37250	46767
synth. Glycerin	0	906	4221	5299
Benzinmotorkraftstoff	191734	223304	384758	572533
Heizöl	2158123	2172607	2147332	2139831
elektrische Energie in GWh				
Strom	0	160	451	491

¹⁾ Stilllegungsflächen: nach Stilllegungssatz für 2005 (BMVEL 2005)

3.4 Ökonomische Bewertung der Vermeidungsstrategien und Schlussfolgerungen

Im Folgenden soll auf die Effizienz der Vermeidungsszenarios auf Landesebene eingegangen werden. Hierzu folgt eine vereinfachte Kosten-Nutzen-Gegenüberstellung, bei der die Deckungsbeitragsänderungen der Landwirtschaft, den staatlichen Subventionsausgaben zur Förderung der Bioenergie, den entgangenen Steuereinnahmen und den Mehrausgaben der Verbraucher gegenüber gestellt werden. Hierbei zeigt sich, dass in Niedersachsen zur Reduzierung von 1 Tonne CO₂-Äquivalenten zunächst ein Vermeidungsgewinn zu erwarten wäre (vg. Tabelle 7). Bei der Nutzung der Stilllegungsflächen für die Energiepflanzenproduktion sind die Einkommenszuwächse im Sektor Landwirtschaft jeweils höher als die entstehenden Kosten. Wird der Anbau weiter ausgedehnt, so erhöhen sich die staatlichen Ausgaben und Mehrkosten für die Verbraucher stärker, als die Einkommenszuwächse der Landwirte. Stehen bis zu 30 % der Ackerfläche für den Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Verfügung, wären Vermeidungskosten von 66 €/t CO₂-Äquivalent zu verzeichnen.

Der Versuch, die Modellergebnisse mit denen anderer Studien zu vergleichen, ist problematisch, da die verwendeten Modelle und auch die Modellannahmen stark von einander abweichen. Ausschlaggebend für die Höhe der Vermeidungskosten sind insbesondere auch die in den Modellen berücksichtigten Anpassungsstrategien. PEREZ UND BRITZ (2003) untersuchten mit dem Regionalmodell CAPRI die Höhe der Vermeidungskosten für das Referenzjahr 2009. Hierbei wurde eine Reduktion der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen von 10 % gegenüber den Emissionen des Jahres 1990 angenommen. Für Deutschland wurden Grenzvermeidungskosten von ca. 36 €/t CO₂-Äquivalente ermittelt. Die Anpassungsreaktionen der Landwirte sind in dieser Studie überwiegend durch Intensitätssenkungen der pflanzlichen und tierischen Produktion gekennzeichnet.

Zum Vergleich der Vermeidungskosten der Landwirtschaft mit anderen Sektoren, kann der Preis für Emissionsrechte (EUA) an der European Energy Exchange (EEX) herangezogen werden. Die EEX betreibt einen Spotmarkt, an dem EU-Emissionszertifikate gehandelt werden, und einen Terminmarkt, an dem durch die Börsenteilnehmer Futures auf die EUA der ersten (2005–2007) und zweiten (2008–2012) Verpflichtungsperiode gehandelt werden. Die Preise am Spotmarkt reichen von 30 €/t CO₂-Äquivalente im Frühjahr 2006 bis derzeit 0,09 €/t CO₂-Äquivalente. Die Werte zeigen, dass der Handel mit Emissionsrechten noch nicht funktioniert. Zieht man die Preise des Terminmarktes der zweiten Verpflichtungsperiode von ca. 20 €/t CO₂-Äquivalente für Carbon Futures von 2008 heran, so wäre der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf 10 % der Ackerfläche in Niedersachsen durchaus wettbewerbsfähig.

Tabelle 7: Vergleich der Effizienz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe – Szenario (Biogas/Biodiesel/Bioethanol/Stroh)

	Einheit	Stilllegung ¹⁾	10 %	20 %	30 %
Fläche gesamt	ha	2 614 737	2 614 737	2 614 737	2 614 737
davon Fläche mit Zwischenfruchtanbau ²⁾	ha	621 564	626 992	627 272	626 791
davon NaWaRo auf Ackerfläche	ha	0	47 162	218 998	363 827
Stromproduktion	GWh	0	160	451	491
Produktion von Biodiesel	Mio. l	0	10	49	61
Produktion von Bioethanol	Mio. l	393	457	788	1 172
Förderung des Zwischenfruchtanbaus	€/ha	90	90	90	90
Energiepflanzenprämie	€/ha	45	45	45	45
Förderung von Biogasstrom	ct/kWh	8	8	8	8
Förderung von Biodiesel	ct/l	36	36	36	36
Förderung von Bioethanol	ct/l	65,5	65,5	65,5	65,5
Rückgang der Treibhausgasemissionen	kg CO ₂ -Äq./ha	2 496	2 577	2 873	3 097
Deckungsbeitragsänderung (Landwirtsch.)	€/ha	+133	+134	+137	+140
Fördermittel (insgesamt)	€/ha	-21	-22	-25	-28
zusätzliche Verbraucherkosten (Strom)	€/ha	0	-5	-14	-15
entgangene Steuereinnahmen	€/ha	-98	-116	-204	-302
Vermeidungskosten	€/ha	+14	-9	-106	-205
	€/t CO₂-Äq.	+5	-3	-37	-66

1) Stilllegungsflächen

2) Im Rahmen des NAU

Literatur

- ANGENENDT, E. (2003): Entwicklung eines ökologisch-ökonomischen Modells für extensive Futterbaubetriebe zur Abbildung der Emissionen klimarelevanter Gase aus der Landwirtschaft und zur Bewertung von Vermeidungsstrategien. Agrarwirtschaft Sonderheft Nr. 176.
- EEX – EUROPEAN ENERGY EXCHANGE (2006): EU EMISSIONSBERECHTIGUNGEN 2006. IN: [HTTP://WWW.EEX.DE/GET.PHP?F=07D521274550CA92B6747B0C22BF415E.XLS&M=DOWNLOAD](http://www.eex.de/get.php?f=07d521274550ca92b6747b0c22bf415e.xls&m=download) (STAND JANUAR 2007).
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003): Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 des Rates. In: Amtsblatt Nr. 270, 10/2003.
- HENZE, A. und ZEDDIES, J. (2007): Flächenpotenziale für die Erzeugung von Energiepflanzen der Landwirtschaft der Europäischen Union. In: Agrarwirtschaft 56, Heft 5/6.
- IPCC – INTERGOVERNMENTEL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2003): Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry.
In: <http://dev.aspen.grida.no/jm/gpg/tool.htm>.
- KAZENWADEL, G. (1999): Ökonomisch/ökologische Beurteilung von regionalen Agrar- und Umweltprogrammen in der Europäischen Union. Agrarwirtschaft Sonderheft 162, Agrimedia Verlag, Bergen/Dumme.
- KTBL – KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2004/05): Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft, 19. Auflage, Darmstadt.
- NAU – NIEDERSÄCHSISCHE AGRAR- UMWELTPROGRAMME (2003): Richtlinie VO (EG) 1257/1999 Art. 22-24 über die Gewährung von Zuwendungen für Niedersächsische Agrar-Umweltprogramme. Niedersächsisches Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hannover.

- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK (2004): Sonderauswertung - Bodennutzung und Ernte 2003. Statistische Berichte Niedersachsen, Referat Landwirtschaft, Hannover.
- PEREZ I., und BRITZ, W. (2003): Reduction of Global Warming Emissions in the European Agriculture through a Tradable Permit System. An Analysis with the Regional Agricultural Model CAPRI, Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Bd. 39 (2004), pp. 283-290.
- SCHÄFER, M. (2006): Abschätzung der Emissionen klimarelevanter Gase aus der Landwirtschaft Baden-Württembergs und Bewertung von Minderungsstrategien unter Nutzung eines ökonomisch-ökologischen Regionalmodells. Shaker Verlag, Aachen.
- SAUER, N., WEIERHÄUSER, L. und HARDEWEG, B. (2004): Standortdeckungsbeiträge (SDB) 2000/01, 2001/02, 2002/03. KTBL-Datensammlung.
- TRIEBE, S. (2007): Möglichkeiten zur Verminderung von Treibhausgasen aus der Landwirtschaft in den Bundesländern Brandenburg und Niedersachsen. Dissertation, Hohenheim (im Druck).