
Angenendt, E., Zeddies, J.: Eignung bestehender Modellansätze zur Abschätzung des Reduktionspotenzials und der Vermeidungskosten von Treibhausgasen aus der Landwirtschaft. In: S. Dabbert, W. Grosskopf, F. Heidhues und J. Zeddies: Perspektiven der Landnutzung – Regionen, Landschaften, Betriebe – Entscheidungsträger und Instrumente. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 39, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (2004), S. 211-220.

EIGNUNG BESTEHENDER MODELLANSÄTZE ZUR ABSCHÄTZUNG DES REDUKTIONSPOTENZIALS UND DER VERMEIDUNGSKOSTEN VON TREIBHAUSGASEN AUS DER LANDWIRTSCHAFT

von

*Elisabeth Angenendt und Jürgen Zeddies**

1 Einführung

Die Bedeutung der Landwirtschaft im Rahmen der internationalen Klimaschutzpolitik ist insbesondere durch die Klimarahmenkonferenz in Marrakesch (COP7) gestiegen. Hierbei wurden auf der Grundlage des Artikels 3.4 des Kyoto-Protokolls Richtlinien zur Berücksichtigung land- und forstwirtschaftlicher Aktivitäten, die zu einer Bindung von Kohlenstoff in Ökosystemen führen, vereinbart. Danach kann der durch Land- und Forstwirtschaft gebundene Kohlenstoff z.B. durch Landnutzungsänderungen oder pfluglose Bodenbearbeitung mit den jeweiligen nationalen Emissionsreduktionsverpflichtungen verrechnet oder zum Emissionshandel genutzt werden. Hierdurch kam es zu einem Wandel der auf den Sektor Landwirtschaft ausgerichteten Klimaschutzpolitik. Während zuvor die Quellenfunktion der Landwirtschaft durch Methanemissionen aus der Tierhaltung und düngungsinduzierte Lachgasemissionen sowie deren Minderung im Vordergrund stand, ist nun auch die Bewertung der Landwirtschaft als Senke von Treibhausgasemissionen von großer Bedeutung. Bis zum Jahr 2007 müssen sich die Vertragsstaaten, also auch Deutschland entscheiden, ob eine Anrechnung der land- und forstwirtschaftlichen Senken in der nationalen Treibhausgasbilanz erfolgen soll (UNFCCC, 2001). Das Wissen über das Ausmaß und eine mögliche Erhöhung dieser Senkenfunktion ist bisher noch sehr unvollständig. Modellbasierte Analysensysteme können zur Erweiterung des Kenntnisstandes beitragen und als unterstützendes Instrument für die Ausgestaltung anstehender Politikmaßnahmen eingesetzt werden.

Im Rahmen einer Studie¹ für die Generaldirektion Umwelt der EU Kommission wurden bereits existierende agrar- und forstökonomische sowie standortbezogene Ökosystemmodelle hinsichtlich einer möglichen Verwendung in einem Modellverbund zur Bewertung land- und forstwirtschaftlicher „Kohlenstoffsinken“ und Treibhausgasemissionen in der EU untersucht. Dieses modellgestützte Analysensystem soll insbesondere zur Ermittlung von Vermeidungsgrenzkosten, die sich durch eine Realisierung von potenziellen Kohlenstoffsinken ergeben würden, eingesetzt werden.

2 Methode zur Auswahl von Modellansätzen für den Modellverbund

Um bereits existierende Modelle hinsichtlich ihrer Eignung für einen Modellverbund untersuchen zu können, wurden in einem ersten Schritt Bewertungsmaßstäbe auf der Grundlage ökonomischer und ökologischer Kriterien entwickelt. Die Modelle müssen dabei die folgenden essentiellen Voraussetzungen erfüllen:

* Dr. Elisabeth Angenendt und Prof. Dr. Drs. h.c. Jürgen Zeddies, Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410 B), 70593 Stuttgart, e-mail: angenendt@uni-hohenheim.de.

¹ Titel der EU-Studie: Towards an Analytical Capacity in Costing of Abatement Options for Forestry and Agricultural Carbon sinks. Die Studie wurde zusammen mit Prof. Dr. Henrichsmeyer (EuroCare) und Prof. Dr. Solberg (Department of Forest Science, Agricultural University of Norway) durchgeführt.

1.) *Abbildung der Produktion*

Die Modelle sollen die wichtigsten Produkte des europäischen Agrar- und Forstsektors abbilden. Für den Agrarsektor bedeutet das die Berücksichtigung der Hauptgetreidearten, der wichtigsten Hack- und Ölfrüchte, Eiweißpflanzen sowie der wichtigsten Tierprodukte. Beim Forstsektor sollte eine Abbildung der Produktion nach Altersklassen unter Berücksichtigung der wichtigsten dynamischen Prozesse möglich sein.

2.) *Regionale Abbildung*

Von zentraler Bedeutung ist die differenzierte Darstellung der EU-Mitgliedsstaaten. Die größten Beitrittsländer zur EU sollten zumindest integrierbar sein. Sollten sich Modelle, die nur Teilregionen oder einzelne Mitgliedsstaaten abbilden, als geeignet erweisen, so muss deren Datengrundlage mit den statistischen Daten der EU konsistent sein. Des Weiteren sollten die ausgewählten Sektormodelle auf EU-Ebene mit Welthandelsmodellen kommunizieren können. Dies ist wichtig, um Maßnahmen im Bereich der Klimaschutzpolitik hinsichtlich ihrer Wirkungen auf Handel, Produktion und Preise etc. untersuchen zu können.

3.) *Ökonomische Steuerungsmechanismen*

Die Modelle sollten auf mikroökonomischen normativen Steuerungselementen und Verhaltensannahmen basieren. Ferner sollten sie Wechselwirkungen zwischen betrieblichen Reaktionen und Wirkungen auf Faktor- und Produktmärkte berücksichtigen.

4.) *Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen*

Mögliche Politikoptionen zur Erhöhung der Kohlenstoffsenken können andere Umweltziele beeinträchtigen. So führt bspw. die Minimalbodenbearbeitung i.d.R. zu einem erhöhten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Aufforstungsmaßnahmen können bspw. in Konkurrenz zu festgelegten Naturschutzziele stehen. Nicht alle Wechselwirkungen zu anderen Umweltqualitätszielen können als essenzielle Bewertungskriterien gefordert werden, gleichwohl sollten wichtige Wechselwirkungen Berücksichtigung finden.

5.) *Standortspezifische Effekte*

Die Höhe der Kohlenstoffakkumulation und der bodenbürtigen Lachgasemissionen wird im Wesentlichen durch naturräumliche Gegebenheiten bestimmt. Deshalb sollten für einen möglichen Modellverbund konsekutive Standortmodelle oder integrierte Standortwechselbeziehungen, gegebenenfalls gekoppelt mit Geographischen Informationssystemen, ein essentieller Bestandteil der Modellierung sein.

6.) *Wohlfahrtseffekte*

Der Modellverbund soll auch zur Bewertung von Politikmaßnahmen geeignet sein. Umsetzbare Maßnahmen sollten positive Wohlfahrtseffekte hervorbringen bzw. mit minimalen Wohlfahrtsverlusten umgesetzt werden. Bezüglich der geforderten Akzeptanz sind ebenfalls Verteilungswirkungen bis hin zu Beschäftigungseffekten und Budgeteffekten wichtige Bewertungsindikatoren für Politikoptionen.

7.) *Modellreputation- und Anwendbarkeit*

Im Rahmen einer Literaturstudie wurden eine Reihe von agrar- und forstökonomischen Modellen ausgewählt und anhand der oben beschriebenen Kriterien hinsichtlich ihrer Eignung für ein modellbasiertes Bewertungssystem für Kohlenstoffsenken und Treibhausgasemissionen aus der Land- und Forstwirtschaft untersucht. Die Ergebnisse der Literaturstudie werden nachfolgend beschrieben.

3 Ergebnisse der Modellbewertung

Die ausgewählten Modelle setzen auf unterschiedlichen Maßstabsebenen an; d.h. Schlag-, Betrieb-, Sektor-, Mitgliedsländer- und EU-Ebene werden berücksichtigt. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Ergebnisse der EU-Studie dargestellt. Dabei werden lediglich die vom Autorenteam bearbeiteten landwirtschaftlichen und standortbezogene Ökosystemmodelle berücksichtigt.

Das Agrarsektor- und Treibhausgasminderungsmodell (Agricultural Sector and Greenhouse Gas Mitigation Model – **ASMGHG**) wurde entwickelt, um für die Landwirtschaft in den USA das Potenzial einer Reduzierung von Treibhausgasemissionen analysieren zu können. Als Basismodell diente ein Agrarsektormodell, das um Modellteile zur Bestimmung von Emission und Absorption von Kohlendioxid, Methan und Lachgas erweitert wurde. Zur Bestimmung bodenbürtiger Treibhausgasemissionen wurde das prozessanalytische Simulationsmodell EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) verwendet. Des Weiteren wurden Ergebnisse aus einem Forstsektormodell integriert. Hierdurch lässt sich die Höhe der Kohlenstoffspeicherung als Folge einer potenziellen Landnutzungsänderung von land- zu einer forstwirtschaftlichen Nutzung ermitteln. Der ASMGHG-Modellverbund entspricht in hohem Maße den genannten Bewertungskriterien, ist aber ohne erheblichen Zeitaufwand nicht auf die EU und die geltenden agrarpolitischen Rahmenbedingungen übertragbar.

Das **GECS-Projekt** wurde innerhalb des 5. Rahmenprogramms der EU von mehreren Partnerinstitutionen gemeinsam entwickelt. Ziel des GECS-Projekts ist es, globale Szenarien zur Analyse der Wirkungen von Politikmaßnahmen unter den Bedingungen des Kyoto-Protokolls abzuleiten. Darunter befinden sich auch Maßnahmen zur Minderung von Emissionen durch Landnutzungsänderungen und zur Erhöhung von Kohlenstoffsinken. Der in GECS entwickelte Modellverbund setzt sich aus verschiedenen Modellteilen zusammen. Hierbei werden auch prozessanalytische Modelle wie z.B. ein terrestrisches Kohlenstoffmodell, ein Landnutzungsmodell sowie ein Landdegradationsmodell eingesetzt, die prinzipiell zur Abschätzung der Kohlenstoffsinken durch Land- und Forstwirtschaft genutzt werden können. Für einen Modellverbund auf EU-Ebene dürfte allerdings die verwendete räumliche Auflösung nicht hoch genug sein. Während das im Modellverbund eingesetzte ökonomische Modell GEM-E3 zur Abbildung energiebedingter Umweltpolitiken in einem hohem Maße die ökonomischen Bewertungskriterien erfüllt, können die beiden eingebundenen Agrarsektormodelle als nicht geeignet angesehen werden.

CAPRI und **WATSIM** wurden gemeinsam von verschiedenen europäischen Forschungsinstituten entwickelt. Auf der Ebene der EU-Mitgliedsstaaten ist CAPRI auf die NUTS II- Ebene disaggregiert. Auf der Basis von EUROSTAT-Daten ermöglicht CAPRI eine hohe produktspezifische Abbildung des EU-Agrarsektors. Die Modelle sind miteinander konsistent, wobei WATSIM eher auf weltweite Agrarhandelseffekte abhebt und die Allokations- und Distributionseffekte im Bezug auf eine Politikanalyse besonders berücksichtigt. Der Vorteil und die Stärke des Modellverbundes liegt in seiner großen Akzeptanz bei politischen Entscheidungsträgern aufgrund langjähriger Erfahrungen im Bereich der Politikfolgenabschätzung für die EU (Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik, Agenda 2000 usw.). Gegenwärtig werden biogene landwirtschaftliche Treibhausgasemissionen allerdings nur unzureichend und Kohlenstoffsinken noch gar nicht im Modell berücksichtigt. Allerdings wären der erforderliche Zeitaufwand für eine Anpassung der Modelle und die damit verbundenen Kosten im Vergleich zu den zuvor genannten Modellen als relativ gering einzuschätzen.

Analog zu CAPRI bildet **RAUMIS** den deutschen Agrarsektor auf NUTS III-Ebene (Landkreise) ab. Dabei wird die landwirtschaftliche Produktion in hohem Maße disaggregiert betrachtet. Die Abschätzung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen erfolgt weitestgehend unter Verwendung der IPCC-Emissionsfaktoren zur Erstellung der nationalen Treib-

hausgasinventare, ohne jedoch naturräumliche Gegebenheiten explizit einzubeziehen. Neben diesen lassen sich mit RAUMIS weitere wichtige Umweltwirkungen der Landwirtschaft wie z.B. Ammoniakemissionen oder Nährstoffbilanzen abschätzen. Der Modellansatz kann ebenfalls im Verbund mit WATSIM eingesetzt werden. Für den Einbezug in einen für Deutschland zu entwickelnden Modellverbund wäre RAUMIS geeignet. Eine Übertragung des Modellansatzes auf alle EU-Mitgliedsländer wäre allerdings mit einem sehr hohen Zeitaufwand verbunden.

Auf betrieblicher Ebene existieren stark disaggregierte, **prozessbasierte ökonomische Betriebsmodelle** zur Abschätzung landwirtschaftlicher Treibhausgasemissionen und weiterer Umweltwirkungen auf der Basis mikroökonomischer normativer Steuerungsmechanismen. Mit Hilfe dieser Modelle können bspw. verschiedene Bewirtschaftungsintensitäten oder Politikmaßnahmen auf Einkommenseffekte und Umweltwirkungen untersucht werden. Bisher gibt es solche prozessbasierten ökonomischen Betriebsmodelle für die französische und die deutsche Landwirtschaft. In Frankreich wurden diese Modelle zur Untersuchung von Klimaschutzpolitiken auf betrieblicher und sektoraler Ebene eingesetzt. In Deutschland wurden ähnliche Analysen auf einzelbetrieblicher Ebene für wichtige repräsentative Betriebsformen durchgeführt. Die nur geringe regionale Abbildungsgüte dieser Modelle auf EU-Ebene erweist sich als nachteilig. Des Weiteren lassen sich keine Wohlfahrtseffekte untersuchen.

Die standortbezogenen Modelle, die im Rahmen dieser Studie untersucht wurden, unterscheiden sich grundlegend hinsichtlich ihrer Komplexität, der räumlichen Auflösung, sowie der Datenanforderungen. Auf der einen Seite stehen regionale **Regressionsmodelle**, die für die EU und das Vereinigte Königreich entwickelt wurden. Diese haben eine vergleichsweise einfache mathematische Struktur und verhältnismäßig geringe Datenanforderungen. Ihre Stärke liegt in der Abbildung bodenbürtiger N_2O -Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden auf der Grundlage von Bodenkarten. Ähnliche Regressionsmodelle gibt es gegenwärtig nicht, bzw. nicht ausreichend differenziert, für Quellen- und Senkenfunktionen für CO_2 der Böden. Auf der anderen Seite stehen hochkomplexe prozessanalytische Simulationsmodelle wie z.B. **CENTURY**, **DNDC** und **EPIC**, mit denen die Stickstoff- und Kohlenstoffdynamik in Böden simuliert wird. Die Modelle erlauben es, den Boden als Quelle oder Senke für Treibhausgasemissionen abzubilden. Allerdings hängt die Qualität der Simulationsergebnisse stark von der Qualität der Eingabedaten ab. Während die Modelle früher überwiegend zur Simulation von Bodenprozessen auf Schlagebene eingesetzt wurden, werden sie heute auch zur Abschätzung von bodenbürtigen Treibhausgasemission auf Regions- oder Länderebene eingesetzt. Zur Bestimmung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen auf Länderebene wurde in letzter Zeit insbesondere das DNDC-Modell verwendet. Ökonomische Gesichtspunkte werden in den beiden standortbezogenen Modellansätzen jedoch nicht berücksichtigt.

Tabelle 1 Überblick ausgewählter Modelle und Modellverbände zur Abbildung landwirtschaftlicher Kohlenstoffsenken und zur Bewertung von Vermeidungsmaßnahmen

Name des Modells oder Modellverbundes	Ökonomisches Teilmodell und/oder Datenbasis	Fragestellung	Modellierungsebene	Stärke	Schwächen
ASMGHG, EPIC, FASOM	Agrarstatistik (USDA)	THGE und Vermeidungsoptionen des Agrarsektors der USA	USA 63 Regionen	(1), (3), (5), (6), (7), (4)	(2)
GECS und IMAGE	GEME3	Abbildung der Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft und Umwelt im Bereich energiebezogener Klimaschutzmaßnahmen	EU 15 Mitgliedsländer	(2), (3), (6), (7)	(1), (4), (5)
	AEM	Abbildung der Nachfrage für Nahrungsmittel, Futtermittel und Holzprodukte	Welt 13 Regionen	(1)	(2), (3), (4), (5), (6), (7)
	Agri-Pol	Abschätzung von Vermeidungsgrenzkostenkurven für Kohlenstoff	Welt 40 Regionen	(2), (2) ^{A)}	(7), (2) ^{A)}
WATSIM	Agrarstatistik	Analyse agrarpolitischer Maßnahmen im Hinblick auf landwirtschaftliche Märkte	Welt 15 Regionen	(1), (2), (3), (6), (7)	(4), (5)
CAPRI	Agrarstatistik	Analyse agrarpolitischer Maßnahmen im Hinblick auf landwirtschaftliche Märkte	EU 200 Regionen (NUTS II-Ebene)	(1), (2), (3), (6), (7)	(4), (5)
RAUMIS	Agrarstatistik	Analyse agrarpolitischer Maßnahmen im Hinblick auf landwirtschaftliche Märkte	Deutschland 340 Regionen	(1), (3), (4), (6), (7)	(2), (5)

^{A)} Eine genaue Bewertung von Agri-Pol ist derzeit noch nicht möglich, da kaum Publikationen vorliegen und der abschließende Forschungsbericht für das EU-Projekt GECS, der eine ausführlicher Beschreibung von Agri-Pol enthält zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht veröffentlicht wurde.

- (1) Abbildung der Produktion (2) Regionale Abbildung (3) Ökonomische Steuerungsmechanismen (4) Wechselwirkungen
 (5) Standort spezifische Effekte (6) Allokations- u. Distributionseffekte (7) Modellreputation

Tabelle 1 Fortsetzung

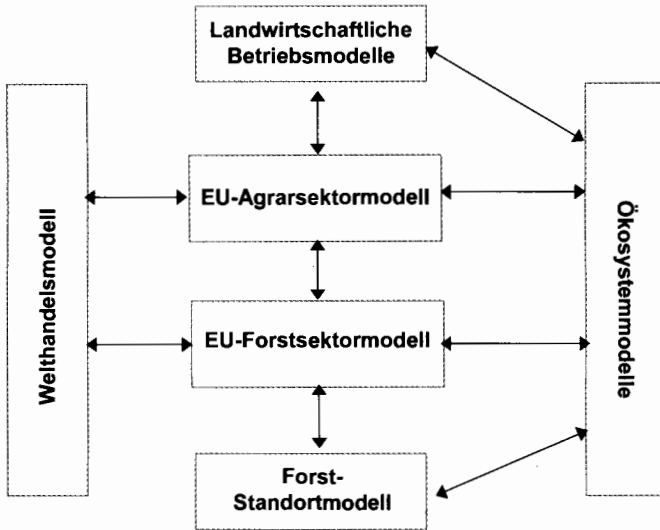
Name des Modells oder Modellverbundes	Ökonomisches Teilmodell und/oder Datenbasis	Fragestellung	Modellierungsebene	Stärke	Schwächen
Prozessbasierte ökonomische Betriebsmodelle	Agrarstatistik	Auswirkungen von Aufforstung auf Stilllegungsflächen, Vermeidungskosten	Frankreich Betrieb, Sektor	(1), (3), (5)	(2), (4), (6)
Prozessbasierte ökonomische Betriebsmodelle	Empirische Daten Buchführungsdaten	Bewertung von Vermeidungsoptionen und -kosten	Deutschland Betrieb	(1), (3), (4), (5)	(2), (6)
Regressionsmodell	Boden und Witterungsdaten, Agrarstatistik	Inventarisierung von biogenen landwirtschaftlichen THGE	EU 15 Mitgliedsländer (NUTS I/II Ebene)	(2), (5)	(1), (3), (4), (6)
Regressionsmodell	Boden und Witterungsdaten, Agrarstatistik	Inventarisierung von N ₂ O aus Böden	UK Partition: 5 km ²	(5)	(1), (2), (3), (4), (6)
CENTURY	Boden und Witterungsdaten, Agrarstatistik	N und C Dynamik in Böden	Ursprünglich Feldebene, mittlereweile auch Regionsebene	(4), (5)	(1), (2), (3), (6)
DNDC	Boden und Witterungsdaten, Agrarstatistik	N und C Dynamik in Böden	Ursprünglich Feldebene, mittlereweile auch Länderebene (z.B. USA, China, UK)	(4), (5), (7)	(1), (2), (3), (6)
EPIC	Boden und Witterungsdaten, Agrarstatistik	N und C Dynamik in Böden	Ursprünglich Feldebene, mittlereweile auch Länderebene (z.B. USA)	(4), (5)	(1), (2), (3), (6)

(1) Abbildung der Produktion (2) Regionale Abbildung (3) Ökonomische Steuerungsmechanismen (4) Wechselwirkungen
 (5) Standortspezifische Effekte (6) Allokations- u. Distributionseffekte (7) Modellreputation

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die vorangegangene Bewertung der bereits existierenden Modellansätze hat gezeigt, dass für die EU noch kein geeignetes modellbasiertes Analysesystem zur Bewertung des Reduktionspotenzials von Treibhausgasen und Kohlenstoffsenken aus der Land- und Forstwirtschaft zur Verfügung steht. Es gibt aber Modelle, die in Teilbereichen den Bewertungskriterien in hohem Maße entsprechen. So existieren auf der einen Seite bereits hinreichend etablierte und evaluierte Agrarsektormodelle, mit deren Hilfe sich alle geforderten ökonomisch orientierten Bewertungskriterien abdecken lassen, und auf der anderen Seite können zur Abbildung der geforderten ökologisch orientierten Kriterien prozessanalytische Simulationsmodelle verwendet werden. Auf Grundlage der hier vorgestellten Modellobwertung wurde als Ergebnis der EU-Studie, in Anlehnung an den für die Land- und Forstwirtschaft der USA entwickelten Modellansatzes (ASMGHG, EPIC, FASOM), ein integrativer Modellverbund bestehend aus Einzelmodellen vorgeschlagen (Abbildung 1).

Abbildung 1 Integrativer Modellansatz zur Bewertung der Treibhausgasemissionen und Kohlenstoffsenken der europäischen Land- und Forstwirtschaft



Im Mittelpunkt des Modellverbundes stehen Sektormodelle für die Land- und Forstwirtschaft der EU. Diese müssen insoweit miteinander kommunizieren können, dass sich Gesamteffekte der agrar- und forstwirtschaftlichen Politiken abbilden lassen. So ist es möglich, dass umweltpolitische Strategien zur Erhöhung der Kohlenstoffsenken, wie bspw. Aufforstungsmaßnahmen, zu einer Konkurrenz der Flächennutzung führen. Durch Verknüpfung eines Agrarsektormodells mit einem Forstsektormodell lassen sich somit Vermeidungsgrenzkostenkurven für land- und forstwirtschaftlich nutzbare Flächen in Abhängigkeit eines Standortes ermitteln. Die durch politische Maßnahmen ausgelösten Wettbewerbseffekte lassen sich durch den Einbezug eines Welthandelsmodells für die Agrar- und Forstwirtschaft abbilden.

Die Ergebnisse der Sektormodellierung sollten durch Integration von prozessanalytischen Betriebsmodellen für den Bereich der Landwirtschaft und forstwirtschaftliche Standortmodelle ergänzt werden. Durch den Einbezug der betrieblichen Ebene ergeben sich zwei wesentliche Vorteile. Zum einen lassen sich mit Hilfe der disaggregierteren Modellansätze für die

verschiedenen betrachteten land- und forstwirtschaftlichen Produktionsverfahren Emissionsfaktoren ableiten, die in die Sektormodellierung integriert werden können. Zum anderen lassen sich die Auswirkungen umweltpolitischer Maßnahmen aus der Sektormodellierung wieder auf die Ebene des Betriebes runterbrechen, wodurch Anpassungsreaktionen der Land- und Forstwirte besser aufgezeigt werden können.

Zur besseren Abschätzung des Reduktionspotenzials der land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden sollte der Modellverbund um standortbezogene Modelle ergänzt werden. Hierzu eignen sich, wie bereits beschrieben, Regressionsmodelle, die dann aber um Modellteile zur Abbildung von Kohlenstoffsinken bzw. -quellen ergänzt werden müssen. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch die Verwendung von prozessanalytischen Simulationsmodellen.

Um diesen Modellverbund verwirklichen zu können, besteht ein großer interdisziplinärer Forschungsbedarf. Da bereits bestehende Modelle eingesetzt werden können, läge der Schwerpunkt der Forschung weniger auf der Modellentwicklung, sondern auf einem funktionierenden Datenmanagement und der Entwicklung von Schnittstellen zwischen den Modellen. Dabei sollte insbesondere der Umgang mit unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Modellierungsebenen geklärt werden.

5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde auf der Grundlage einer EU-Studie ein Vorschlag für ein modellbasiertes Analysesystem zur Bewertung des Reduktionspotenzials von Treibhausgasen der europäischen Land- und Forstwirtschaft entwickelt. Dazu wurde eine Reihe von existierenden Modellansätzen auf unterschiedlichen Modellierungsebenen für ihre Eignung als Analysesystem anhand von Bewertungskriterien überprüft. Dabei zeigte sich, dass für die EU keines der existierenden Modelle alle Bewertungskriterien erfüllt, sondern jeweils nur Teilbereiche. Deshalb wird ein Modellverbund aus Ökosystemmodellen, Agrar- und Forstsektormodellen und prozessanalytischen Betriebsmodellen vorgeschlagen.

Literatur

UNFCCC - UNITED NATION FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (2001): Report of the Conference of the Parties on its seventh Session, held at Marrakesh from 29. October to 10 November 2001, Addendum Part two: Action taken by the Conference of the Parties, Volume I and II

Ausgewählte Literatur zu den genannten Modellen

ASMGHG

MCCARL, B.A., B. MURRAY und U.A. SCHNEIDER (2001): Jointly Estimating Carbon Sequestration Supply from Forests and Agriculture (Paper prepared for presentation at Western Economics Association Meetings, July 5-8, 2001, San Francisco).

In: <http://agecon.tamu.edu/faculty/mccarl/mitigate.html>

SCHNEIDER, U.A. (2000): Agricultural Sector Analysis on Greenhouse Gas Emission Mitigation in the United States. Dissertation from Texas A&M University.

GECS

CAPROS, P. ET AL. (1997): The GEM-E3 model: Reference Manual.

THE GECS PROJECT HOMEPAGE: <http://www.upmf-grenoble.fr/iepe/GECS/index.html> .

TINKER, B. ET AL. (2000): Report of the third session of the IMAGE Advisory Board. RIVM Report 481508014, Bilthoven, Netherlands.

CAPRI

BRITZ, W. (1998): A Synthetic Non-Spatial Multi-Commodity Model as Market Component for CAPRI, CAPRI Working Paper 98-07, University of Bonn

WITZKE, H.-P und W. BRITZ (1998): A Maximum Entropy Approach to the Calibration of Highly Differentiated Demand System, CAPRI Working Paper 98-06, University of Bonn.

WATSIM

LAMPE, VON, M. (1999): A Modelling Concept for the Long-Term Projection and Simulation of Agricultural World Market Development – World Agricultural Trade Simulation Model WATSIM. Dissertation. Bonn/Aachen: Shaker Verlag.

LAMPE, VON, M. (1999): Modelling Gross Trade with the World Agricultural Trade Simulation Model. WATSIM Working Paper, Bonn

RAUMIS

HENRICHSMEYER, W., C. CYPRIS, W. LÖHE, M. MEUDT, S. SANDER, F. SOTHEN VON, F. ISERMEYER, A. SCHEFSKI, K.H. SCHLEEF, E. NEANDER, F. FASTERDING, B. HELMCKE, M. NEUMANN, H. NIEBERG, D. MANEGOLD und T. MEIER (1996): Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BML (94 HS 021), vervielfältigtes Manuskript, Bonn/Braunschweig.

MEUDT, M. (1999): Weiterentwicklung und Anwendung eines Politikinformationssystems für die Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland: dargestellt am Beispiel der Treibhausgasproblematik. Dissertation, Universität Bonn

DÖHLER, H., B. EURICH-MENDEN, U. DAMMGEN, B. OSTERBURG, M. LÜTTICH, A. BERGSCHMITT, W. BERG und R. BRUNSCH (2002): BMVEL/UBA- Ammoniak Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahr 2010. Umweltbundesamt Texte 05/02.

Prozessbasierte ökonomische Betriebsmodelle

ANGENENDT, E., H.-U. MÜLLER und J. ZEDDIES (2000): Economic evaluation of strategies to avoid the emissions of greenhouse gases from farming system. In: HAM, J. VAN, A.P.M. BAEDE, L.A. MEYER AND YBEMA, R. (EDIT.): Non-CO₂ Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control and Implementation. Kluwer academic publisher, S. 455-460.

MÜLLER, H.-U. (2001): Strategien zur Verminderung von Gasemissionen am Beispiel eines Futterbaubetriebes aus dem Allgäu, Dissertation Universität Hohenheim.

CARA DE, S. and P. A. JAYET (2000): Emissions of Greenhouse Gases from Agriculture: The Heterogeneity of Abatement cost in France.

Standortbezogene Modelle

SOZANSKA, M., U. SKIBA and S. METCALFE (2002): Developing an inventory of N₂O emissions from British soils. In: Atmospheric Environment, 36, p 987-998.

CENTURY-MODEL HOMEPAGE: <http://www.nrel.colostate.edu/projects/century5/>

ALVAREZ, R. (2001): Estimation of carbon losses by cultivation from soils of the Argentine Pampa using the Century model. Soil Use and Management 17, 62-66.

DNDC-Model Homepage: <http://www.dndc.sr.unh.edu/>

LI, C. (2000): Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. Nutrient Cycling in Agroecosystems 58, 259-276.

LIANG, Y.L. and B.C. XU (2000): Simulated carbon and nitrogen contents in arid farmland ecosystem in China using denitrification-decomposition model. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31, 2445-2456.

EPIC-Model Homepage: <http://www.brc.tamus.edu/epic/>

BERNADOS, J.N., E.F. VIGLIZZO, V. JOUVET, F.A. LÉRTORA, A.J. PORDOMINGO und F.D. CID (2001): The use of EPIC model to study the agroecological change during 93 years of farming transformation in the Argentine pampas. *Agricultural Systems* 69, 215-234.

Die gesamte Studie mit allen Literaturhinweisen zu den genannten Modellen kann auf der Homepage der EU Kommission (Generaldirektion Umwelt) heruntergeladen werden: <http://europa.eu.int/comm/environment/climat/eurocare.pdf> (Stand: 01.11.2003).