

Osterburg, Bernhard; Röder, Norbert; Elsasser, Peter; Dieter, Matthias; Krug, Joachim

Working Paper

Analyse ausgewählter internationaler Studien und Dokumente in Hinblick auf Kosten und Potentiale der Minderung von Treibhausgasemissionen sowie des Aufbaus und der Erhaltung von C-Senken im deutschen Agrar- und Forstsektor: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie, No. 04/2009

Provided in Cooperation with:

Johann Heinrich von Thünen Institute, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries

Suggested Citation: Osterburg, Bernhard; Röder, Norbert; Elsasser, Peter; Dieter, Matthias; Krug, Joachim (2009) : Analyse ausgewählter internationaler Studien und Dokumente in Hinblick auf Kosten und Potentiale der Minderung von Treibhausgasemissionen sowie des Aufbaus und der Erhaltung von C-Senken im deutschen Agrar- und Forstsektor: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie, No. 04/2009, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Braunschweig, <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:253-200909-dk041944-1>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/39406>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Institut für Agrarrelevante Klimaforschung (AK)
Institut für Ländliche Räume (LR)
Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft (OEF)
Institut für Waldökologie und Waldinventuren (WOI)
Institut für Weltforstwirtschaft (WFW)



Analyse ausgewählter internationaler Studien und Dokumente über Kosten und Potentiale der Min- derung von Treibhausgasemissionen sowie des Aufbaus und der Erhaltung von C-Senken im deutschen Agrar- und Forstsektor

**Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz**

Bernhard Osterburg, Norbert Röder (LR)
Peter Elsasser, Matthias Dieter (OEF)
Joachim Krug (WFW)

Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie

04/2009

Braunschweig und Hamburg, im Juni 2009

Dipl.-Ing. agr. Bernhard Osterburg und Dr. Norbert Röder sind wissenschaftliche Mitarbeiter des Instituts für Ländliche Räume des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI). Prof. Dr. Matthias Dieter ist Leiter des Instituts für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft des vTI, Dr. Peter Elsasser ist wissenschaftliche Mitarbeiter am selben Institut. Dr. Joachim Krug ist wissenschaftliche Mitarbeiter am vTI-Institut für Weltforstwirtschaft. Die Studie entstand im Frühjahr 2009 im Zuge der Beantwortung einer Anfrage des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Adresse: Institut für Ländliche Räume

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

Bundesallee 50

D-38116 Braunschweig

Telefon: (49) (0)531 596 5211

E-Mail: bernhard.osterburg@vti.bund.de

peter.elsasser@vti.bund.de

Die *Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie* stellen vorläufige, nur eingeschränkt begutachtete Berichte über Arbeiten aus dem Institut für Betriebswirtschaft, dem Institut für Ländliche Räume und dem Institut für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik des Johann Heinrich von Thünen-Instituts dar. Die in den Arbeitsberichten aus der vTI-Agrarökonomie geäußerten Meinungen spiegeln nicht notwendigerweise die der Institute wider. Kommentare sind erwünscht und sollten direkt an die Autoren gerichtet werden.

Der vorliegende Arbeitsbericht kann unter

http://www.vti.bund.de/de/institute/lr/publikationen/bereich/ab_4_2009_de.pdf

kostenfrei heruntergeladen werden.

Zusammenfassung

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung/Summary	i
Inhaltsverzeichnis	I
Verzeichnis der Abbildungen	II
1 Einleitung	1
2 Prüfung und Bewertung von Aussagen aktueller Studien zu Minderungspotenzialen und CO₂-Vermeidungskosten für Maßnahmen aus dem Agrarbereich	3
2.1 Mitteilung der EU-Kommission 2009(39) vom 28.01.2009	3
2.2 Mc-Kinsey-Studie „Pathways to a low-carbon economy“	5
2.3 UNFCCC-Papier “Challenges and opportunities for mitigation in the agricultural sector” (FCCC/TP/2008/8)	9
2.4 Diskussion der Dokumente	11
3 Potenziale zur Reduzierung von THG-Emissionen und CO₂-Vermeidungskosten für Maßnahmen im deutschen Agrarsektor	13
4 Potenziale für den Schutz und Aufbau von C-Senken sowie CO₂-Vermeidungskosten für Maßnahmen im deutschen Forstsektor	17
4.1 Generelle Vorbemerkung	17
4.2 Senkenpotentiale und Vermeidungskosten in Deutschland	18
4.2.1 Aufforstung	18
4.2.2 Maßnahmen im bestehenden Wald („forest management“)	22
5 Schlussfolgerungen für die Politik	29
Literaturverzeichnis	31
Anhang: Liste der analysierten Literatur zu THG-Minderungen im Agrarsektor	34

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Beitrag der Erstaufforstungs-Förderung zur Waldmehrung.....	19
Abbildung 2:	Holzvorräte nach Altersklassen 2002 (Basis: Bundeswaldinventur)	22
Abbildung 3:	Jährliche Veränderung der C-Vorräte im bestehenden Wald (ohne Aufforstungen).....	24
Abbildung 4:	Kumulierter Verlauf von CO ₂ -Erlösen, Opportunitätskosten und deren Saldo in Abhängigkeit von der Speichermenge (schematisch)	26
Abbildung 5:	Kumulierte Emissionen bzw. Senkenleistungen ab der 2. Verpflichtungs- periode für WEHAM-Szenarien A, D, und F nach gross-net-accounting (GNA) und net-net-accounting (NNA, hier unter Bezug auf die Emis- sions- bzw. Senkenentwicklung der jeweils vorausgehenden Periode)	28

1 Einleitung

Am 16.2.2009 bat BMELV mit Schreiben BMELV 226-65403/0006 an den Präsidenten des vTI um Prüfung und Bewertung von drei Dokumenten zu Maßnahmen des Klimaschutzes sowie ggf. um Einbezug weiterer Studien. Es handelt sich um die folgenden Dokumente:

- einer Studie von McKinsey „Pathways towards a low-carbon economy“ zu weltweiten Treibhausgasminderungspotentialen und Kosten,
- ein technisches UNFCCC-Papier „Challenges and opportunities for mitigation in the agricultural sector“ (FCCC/TP/2008/8 vom 21 November 2008),
- eine Kommunikation der EU-Kommission (COM(2009) 39 final) „Ein umfassendes Klimaschutzübereinkommen als Ziel für Kopenhagen“.

Dabei sollen die Aussagen dieser Studien bezüglich der Minderungspotenzialen und CO₂-Vermeidungskosten für Maßnahmen aus dem Agrarbereich bewertet werden. Weiterhin ist zu prüfen, inwieweit die Angaben für Deutschland geeignet sind, und es sollen Vergleiche zu weiteren veröffentlichten Studien hergestellt werden.

Ende März 2009 wurde vor dem Hintergrund der Unterschiedlichkeit der angeführten Studien geklärt, welche Fragen im Vordergrund stehen sollen:

- (1) Minderungspotentiale im Agrarbereich weltweit, mit Schwerpunkt auf Entwicklungsländern?
- (2) Optionen für Minderungen außerhalb der EU als Teil einer EU-Klimaschutzstrategie, etwa durch den Clean Development Mechanism (CDM) bzw. weiterentwickelte Flexibilitätmechanismen?
- (3) Treibhausgas-Vermeidungskosten und Potentiale in Deutschland?

Zu Punkt 3 wurde seitens vTI auf die Debatte zum „effort sharing“ hingewiesen, also der Einbeziehung von Sektoren in den EU-Mitgliedstaaten außerhalb des EU-Emissionshandels. Hierzu liegt ein Beschlussvorschlag der EU-Kommission vor (Proposal for a Decision of the European Parliament and the Council on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020. COM(2008) 17 final. Brussels, 23.1.2008).

Die Bearbeitung der Punkte 1) und 2) würde erhebliche zusätzliche Recherchen erfordern, da Forschung zu Entwicklungsländern keinen Schwerpunkt des vTI darstellt und Mechanismen wie der CDM bisher nicht am vTI analysiert worden sind. Die Frage zu Minderungsoptionen in Deutschland und die Debatte zum „effort sharing“ in Deutschland fällt dagegen in den Aufgabenbereich des vTI. Schwerpunkt der Untersuchungen bilden somit die Analyse der CO₂-Vermeidungskosten und Potenziale für Deutschland. Hierfür ist es

wichtig, auch europäische Bezüge herzustellen. Im Zuge dieser Abstimmung wurde seitens BMELV angeregt, auch CO₂-Vermeidungskosten im Forstbereich einzubeziehen.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Bearbeitung der Studie mit den Vorbereitungsarbeiten der Fachtagung „Aktiver Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel“ Mitte Juni 2009 in Braunschweig zusammenfiel. Da der Tagungsvorbereitung Priorität gegeben werden musste, kann der vorliegende Bericht nur einen knappen Einblick in die komplexe Thematik geben.

2 Prüfung und Bewertung von Aussagen aktueller Studien zu Minderungspotenzialen und CO₂-Vermeidungskosten für Maßnahmen aus dem Agrarbereich

Bernhard Osterburg, Institut für Ländliche Räume

2.1 Mitteilung der EU-Kommission 2009(39) vom 28.01.2009

Im Dokument der EU-Kommission COM(2009)39final stehen Überlegungen zur internationalen Verteilung von Treibhausgas-(THG-)Minderungsverpflichtungen, die Einbindung der Entwicklungsländer und Optionen für einen „Global Carbon Market“ im Mittelpunkt. Neben den anzustrebenden, politischen Verhandlungslösungen werden notwendige Anreiz- und Finanzierungsmechanismen und insbesondere Möglichkeiten von einer Ausweitung des Kohlenstoffmarktes nach Vorbild des EU-Emissionshandelssystems (EU ETS) diskutiert. Bis 2015 wird ein OECD-weiter Kohlenstoffmarkt angestrebt, in den bis 2020 auch wirtschaftlich weiter fortgeschrittenen Entwicklungsländer einbezogen werden sollen.

Der für die angestrebten Klimaschutzanstrengungen notwendige Nettoinvestitionsaufwand wird für das Jahr 2020 auf 175 Mrd. € geschätzt, mehr als die Hälfte davon in Entwicklungsländer und im Forstsektor. Bis 2020 soll die Abholzung von Tropenwäldern gegenüber dem heutigen Stand um mindestens 50 % verringert und der Verlust an Tropenwaldflächen bis 2030 völlig gestoppt werden. Empfohlen wird die Übernahme einer Führungsrolle der Industrie bei der Entwicklung emissionsarmer Technologie und beim Technologietransfer, und die Finanzierung globaler Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben. Als Finanzquelle soll in erster Linie der Emissionshandel dienen.

Im Dokument liegt der Schwerpunkt somit eindeutig auf dem Emissionshandel als Klimaschutzinstrument. Andere Instrumente und Minderungsbereiche außerhalb des ETS finden nur dahingehend Erwähnung, dass der Clean Development Mechanism (einer der Flexibilitätmechanismen des Kyoto-Protokolls) weiter restriktiv zu handhaben ist, damit die Hauptanstrengungen zur THG-Minderung „vor Ort“ in der EU erfolgen. Schon heute werden im EU-Emissionshandelssystem CDM-Gutschriften nur unter bestimmten quantitativen und qualitativen Auflagen anerkannt. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach CDM-Projekten in den „umkämpften“ Sektoren der Schwellenländer soll die Umsetzung über Einzelprojekte schrittweise in andere Klimaschutz-Mechanismen überführt werden, im ersten Schritt z. B. durch sektorale Mechanismen.

Künftige Vorschriften zur Berücksichtigung von Flächennutzung, Flächennutzungsänderungen und Wäldern (LULUCF = land use, land use change and forestry) finden nur

dahingehend Erwähnung, dass sie die Umweltwirkung des Ziels von 30 % THG-Minderung nicht untergraben dürfen. Offensichtlich besteht die Befürchtung, dass ähnlich wie bei überschüssigen Emissionsrechten aus der ersten Kyoto-Periode bis 2012, preis-mindernde Effekte auf dem ETS-Zertifikatemarkt eintreten könnten, wenn der LULUCF-Bereich über Flexibilitätsmechanismen gleichberechtigt in die Minderungsanstrengungen einbezogen wird. Auch wird empfohlen, die Überwachung, Berichterstattung, Reduktionskontrollen sowie die gegenseitige Beurteilungen klimapolitischer Entscheidungen zu verbessern.

Fazit: Die Kommunikation enthält vor allem indirekte Hinweise auf land- und forstwirtschaftliche Minderungsbereiche. Diese beziehen sich auf Konflikte, die durch das Nebeneinander verschiedener Klimaschutzinstrumente und Flexibilitätsmechanismen entstehen können und die Wirksamkeit des ETS schwächen können, und auf die erforderliche Verlässlichkeit und Überprüfbarkeit der erzielten THG-Minderungen.

Weitere Kommissionspapiere mit Relevanz für die vorliegende Fragestellung

Im Folgenden sollen zwei weitere Papiere der Kommission aus dem Jahr 2008 vorgestellt werden, die im Zusammenhang mit der oben beschriebenen Kommunikation stehen:

- 1) Commission of the European Communities: 20 20 by 2020 – Europe's climate change opportunity. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2008) 30 final, Brussels, 23.1.2008.
- 2) Proposal for a Decision of the European Parliament and the Council on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020. COM(2008) 17 final. Brussels, 23.1.2008.

Im ersten Papier wird auf die Notwendigkeit von Klimaschutzanstrengungen außerhalb des ETS hingewiesen. Auch das reformierte ETS wird weniger als die Hälfte der EU-weiten THG-Emissionen abdecken. Daher wird ein EU-Rahmen für die Einbeziehung anderer Sektoren außerhalb ETS als notwendig erachtet, z. B. bezüglich Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, Abfall und kleiner industrielle Anlagen. Das Minderungsziel für diese Bereiche soll bei 10 % liegen. Ein Teil soll durch EU-weite Maßnahmen oder Strategien, etwa zu erneuerbaren Energien und Energieeffizienz, adressiert werden. Für den verbleibenden Teil soll es in den Händen der EU-Mitgliedstaaten liegen, Allokationspläne aufzustellen und politische Maßnahmen zu ergreifen. Bis zu einem Drittel der Minderungen soll auch durch CDM-Projekte abgedeckt werden können. Die Suche nach kosteneffizienten Lösun-

gen soll nach dem Vorbild des ETS möglichst marktnah und flexibel bezüglich nationaler Ziele und Maßnahmen erfolgen. Wichtige Ziele sind:

- Ein ausreichend hoher Zertifikatspreis im ETS als Anreiz für Minderungsmaßnahmen,
- Zertifikatshandel soll effiziente Unternehmen privilegieren,
- Freiheit der Mitgliedstaaten, über THG-Minderungen außerhalb des ETS zu entscheiden, um nationale Besonderheiten berücksichtigen zu können,
- Freiheit der Mitgliedstaaten, einen eigenen Energiemix festzulegen und erneuerbare Energien auf unterschiedlichem Weg zu unterstützen,
- Staatliche Stützung für THG-Minderungen und erneuerbare Energien ist legitim, es muss aber ein Gleichgewicht gegenüber dem Ziel der Wettbewerbsgleichheit im Gemeinsamen Markt erhalten bleiben. Dies erfordert neue Richtlinien für staatliche Stützung für Klimaschutz und erneuerbare Energien.

Das zweite Papier ist eine Beschlussvorlage zum „effort sharing“ bei der Einbeziehung von THG-Minderungen außerhalb des ETS auf Ebene der Mitgliedstaaten nach Ablauf der ersten Kyoto-Verpflichtungsperiode, die 2012 endet. Die Mitgliedstaaten sollen dabei nach Zuteilung von zusätzlichen Minderungsverpflichtungen („effort sharing“ zwischen den EU-Mitgliedstaaten, bisher meist als „burden sharing“ bezeichnet) Flexibilität bei der Verteilung der Minderungen auf Emissionsquellen außerhalb des ETS haben. CDM-Projekte außerhalb der Mitgliedstaaten sollen bis zu einem Drittel der Verpflichtungen abdecken können, wird dieses Limit nicht ausgeschöpft so können entsprechende Rechte an andere Mitgliedstaaten transferiert werden können. Für Deutschland wird eine Emissionsminderung auf Basis der Nicht-ETS-Emissionen im Jahr 2005 (Emissionen, die nicht durch Richtlinie 2003/87/EG abgedeckt sind) in Höhe von 14 % vorgeschlagen.

Fazit: Die beiden Papiere zeigen die steigenden Anforderungen an THG-Minderungen außerhalb des EU-ETS auf, machen aber auch deutlich, dass die Entscheidung über sektorale Minderungsverpflichtungen und konkrete Maßnahmen bei den Mitgliedstaaten liegt und hierbei große Flexibilität besteht. Aufmerksamkeit verdienen die Überlegungen zu Richtlinien zur Förderung solcher Minderungsmaßnahmen außerhalb des ETS und die Forderung, marktnahe und effiziente Lösungen zu suchen.

2.2 Mc-Kinsey-Studie „Pathways to a low-carbon economy“

Bernhard Osterburg und Norbert Röder, Institut für Ländliche Räume

In der McKinsey-Studie wird dem Agrarbereich weltweit ein hohes THG-Reduktionspotential bei niedrigen Kosten bescheinigt. Im „business as usual“-Szenario für 2030 werden THG-Emissionen in Höhe von 7,9 Gt CO_{2äq} (Gt = 1 Mrd. t) angegeben. Die Minderung bei Minderungskosten von maximal 60 €/t CO_{2äq} wird mit 4,6 Gt angegeben.

Der Großteil dieses Potential liegt mit 76 % allerdings in Entwicklungsländern. Eine Differenzierung nach Regionen und konkreten Minderungsmaßnahmen für die jeweiligen Regionen ist in der Studie nicht enthalten. Schwächen zeigen sich bezüglich des Ansatzes: Es wird von einzelwirtschaftlichen Kosten zu fixen Preisen ausgegangen, Nebeneffekte werden ebenso wenig berücksichtigt wie Programm- und Transaktionskosten zur Umsetzung politischer Maßnahmen. Die tatsächliche Umsetzbarkeit von Maßnahmen wird nicht im Detail untersucht, sondern pauschal auf die Probleme im Agrarsektor hingewiesen: Hoher Flächenumfang und Vielzahl von Landwirte als Adressaten, sozioökonomische Strukturen wie Subsistenz, Verbindung der Veränderungen im Agrarsektor zur allgemeinen ökonomischen Entwicklung. Verteilungs- und Entwicklungsziele, die durch die Maßnahmen berührt werden, werden nicht berücksichtigt.

Die hohe Reduktion von über 50 % der gesamten Emissionen wird durch eine verstärkte Kohlenstoffakkumulation im Boden für möglich gehalten, die in großen Teilen als kostenneutral oder mit Gewinn möglich angesehen wird, etwa bei der Verbesserung degradierter Böden. Dabei handelt es sich also nicht um eine Emissionsreduzierung im engeren Sinne, sondern um einen Senkenaufbau. Kohlenstoffsinken stellen mit 75 % der gesamten möglichen THG-Minderungen das Hauptpotential dar (C-Aufbau in landwirtschaftlichen Böden, Schutz organischer Böden). Weitere Maßnahmen beziehen sich auf Methanemissionen aus der Tierhaltung (Verdauung, Wirtschaftsdüngerlagerung) sowie aus dem Reisanbau, und auf die Reduzierung der Lachgasemissionen aus Düngung und Böden. Im einzelnen werden die folgenden landwirtschaftlichen Minderungspotentiale genannt:

– Weide-Emissionen: reduziert um 0,4 t CO _{2äq} / ha:	1,3 Gt CO _{2äq}
– Moorböden (1,1 Mio ha p. a. renaturiert 2020-30):	1,1 Gt CO _{2äq}
degradierte Böden:	0,5 Gt CO _{2äq}
– Landwirtschaftliche Bodennutzung: 0,7 t CO _{2äq} / ha:	1,2 Gt CO _{2äq}
– Tierhaltung	0,5 Gt CO _{2äq}

Viele Maßnahmen im Sektor werden als kostenneutral oder gewinnbringend angesehen (Verbesserungen im Nährstoffmanagement, Bodenbearbeitung, Weidelandverbesserung). Bei einer zweiten Gruppe von Maßnahmen liegen die Kosten unterhalb von 10 €/ t CO_{2äq} (Renaturierung von Moorböden), und nur wenige Maßnahmen weisen Kosten von über 10 €/t auf (Verbesserung degradierter Böden, Futterzusätze). Im Durchschnitt aller untersuchten Optionen in der weltweiten Landwirtschaft wird in der Studie für das Jahr 2030 von Minderungskosten in Höhe von 1 €/ t CO_{2äq} ausgegangen.

Auffällig ist, dass je Maßnahmekategorie von einem durchschnittlichen Kostensatz ausgegangen wird, die in der Realität zu erwartenden Variabilität der Kosten sowie ansteigende Grenzkosten bei zunehmender Umsetzung werden nicht berücksichtigt. Diese Art der Kos-

tenbetrachtung unterstellt je Maßnahmenblock homogene ökonomische und technische Verhältnisse und einheitliche Substitutionsbedingungen.

Die Programm- und Transaktionskosten schätzt McKinsey auf durchschnittlich ca. 1 €/t CO_{2äq}: 0,2 € für Messung und Monitoring, plus Bildung / Investitionen mit 0,7 € plus „Carbon-credit-monetarisation cost“ = 1,1 €/t CO_{2äq}. Diese Kosten sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet. In den maßnahmenspezifischen Minderungskosten werden sie nicht berücksichtigt.

Auch bei Berücksichtigung der in der Studie genannten Unsicherheit um den Faktor 2-3 stellen sich die Minderungskosten als sehr niedrig dar. In der EU wird für Szenarien derzeit von Minderungskosten in Höhe von 20-30 €/t CO_{2äq}, zum Teil auch von 50 €/t CO_{2äq} ausgegangen. Angesichts der Nichtberücksichtigung von Programm- und Transaktionskosten, den Schwierigkeiten der Verifizierung und langfristigen Sicherung von Kohlenstoffakkumulation in Böden und der weltweiten Verknappung produktiver Agrarflächen (und damit ansteigender flächenbezogener Opportunitätskosten) erscheinen diese Werte als Durchschnittsangabe für so große Minderungsmengen unrealistisch niedrig, zumindest aber für Industrieländer nicht belastbar.

In der Studie werden die großen Unsicherheiten im Bereich Landwirtschaft und Landnutzung benannt. Bezüglich der Kohlenstoffsenken wird auf die Sättigung dieser Senken bis 2030-2050 (innerhalb von 20-40 Jahren) hingewiesen. Nach Erreichen eines höheren Speicherniveaus bestehen nur noch wenige weitere Minderungsoptionen (bzw. Optionen für Senkenaufbau), und es besteht die Gefahr der Wiederfreisetzung. Allgemein werden komplexe Verlagerungs-, Substitutions- und Verdrängungseffekte („leakage“), die Dauerhaftigkeit der Wirkungen im Falle von Senken („permanence“), die problematische Identifizierung zusätzlicher Wirkungen angesichts sich verändernder Rahmenbedingungen und „leakage“ („additionality“), die Messbarkeit der Wirkungen und die notwendige, langfristige Beobachtung von Landnutzungssystemen (aufgrund Fruchtfolgen, langsamer C-Akkumulation) als Probleme benannt.

Fazit: Die Studie gibt einen weltweiten und sektorübergreifenden Überblick über erwartete THG-Minderungspotentiale. In Hinblick auf die Aussagen zu im Agrarsektor realistisch erreichbaren Minderungen und Kosten erscheint die Studie wenig belastbar. Für eine Anwendung auf die Landwirtschaft in Deutschland ist die Studie nicht geeignet.

Kommentierung der Studie bezüglich der Aussagen zum Forstbereich

Peter Elsasser und, Matthias Dieter (OEF), Joachim Krug (WFW)

In der McKinsey-Studie werden weltweite Einspar- bzw. Sequestrierungspotentiale thematisiert, welche für das Jahr 2030 realisierbar erscheinen und mit Kosten von bis zu etwa 60 €/ t CO_{2äq} verbunden sind. Untersucht werden 10 Sektoren, darunter auch die Forstwirtschaft (S.116 ff.). Für diesen Sektor wird die weltweite Emission im „business as usual“-Szenario für 2030 auf 7,2 Gt CO_{2äq} / a beziffert,¹ das entsprechende weltweite Einsparpotential auf 7,8 Gt CO_{2äq} / a (per Saldo würde also aus einer Quelle eine Senke). Der weit überwiegende Teil des gesamten Einsparpotentials in Wäldern (88 %) wird in der Studie tropischen Entwicklungsländern zugeschrieben. Von den weltweiten Einspar- bzw. Sequestrierungsmöglichkeiten entfallen bereits zwei Drittel auf vermiedene Entwaldung (REDD; 5,1 Gt CO_{2äq} / a), das restliche Drittel verteilt sich auf Wiederbewaldung degraderter Gebiete (1,4 Gt CO_{2äq} / a), Aufforstung von Grenzertragsböden (Weide- und Ackerland; 1,0 Gt CO_{2äq} / a) und zu einem geringen Teil auch auf Kohlenstoffanreicherungen in bereits existierenden Wäldern („Forest management“, 0,3 Gt CO_{2äq} / a). Lediglich die beiden letztgenannten Maßnahmen kommen überhaupt für Länder in Frage, welche nicht mit Entwaldung und Walddegradation zu kämpfen haben.

Mit den Mengen- sind in der genannten Studie auch summarische Kostenschätzungen verbunden, die nach den jeweiligen Maßnahmenkategorien differenziert sind. Nahezu sämtliche genannten Einsparmöglichkeiten werden mit Kosten von unter 30 €/ t CO_{2äq} eingeschätzt, bei einem Durchschnitt von 9 €/ t CO_{2äq} (S.120 f.). Vermiedene Entwaldung stellt sich danach mit ca. 2-4 €/ t CO_{2äq} als kostengünstigste Option dar. Erst- und Wiederaufforstung werden mit etwa 10-15 €/ t CO_{2äq} beziffert, Managementmaßnahmen in Wäldern etwa in derselben Größenordnung. Lediglich die Kosten der Vermeidung von Waldumwandlung für „Intensivlandwirtschaft“ werden mit etwa 27 €/ t CO_{2äq} angegeben.² Allerdings weisen die Autoren auch darauf hin (S.34/45), dass sowohl die Mengen- als auch die Kostenabschätzungen hier wesentlich unsicherer sind als für die anderen betrachteten Sektoren (u. a. aufgrund erheblicher Implementations-, Mess- und Kontrollprobleme, wie sie insbesondere in Entwicklungsländern und zumal für Maßnahmen gegeben sind, welche sich über weite Räume erstrecken und eine Vielzahl von Betroffenen erreichen müssen).

¹ Dies entspricht nahezu unverändert dem Ausgangswert von 7,4 Gt CO_{2äq} für das Jahr 2005 (MCKINSEY & COMPANY 2009b:116 ff.). In dieser Zahl sind auch Emissionen aus der Zerstörung von Torfböden in den Tropen durch Entwässerung und Abbrennen enthalten (ca. 2 Gt CO_{2äq} / a).

² Diese Kostengrößenordnungen werden auch von vergleichbaren Studien genannt. Z.B. beziffern SPRACKLEN et al. 2008 die Kosten für vermiedene Entwaldung mit 3-30 US\$/tCO₂; für Erst- und Wiederaufforstungen wird mit 20-100 US\$/tCO₂ ein etwas breiterer Kostenrahmen genannt. In dieser Studie ist die Vermeidung der Zerstörung (bewaldeter) tropischer Mooregebiete mit 0,1-4 US\$/tCO₂ die kostengünstigste Option.

Die in der McKinsey-Studie genannten Zahlen dienen einer weltweiten und sektorübergreifenden Betrachtung. Im Einzelnen ist schwer nachzuvollziehen, wie aussagekräftig sie insbesondere bei genauerer Betrachtung eines einzelnen Sektors tatsächlich sind, da die zugrundeliegenden Annahmen nur summarisch beschrieben werden. In der Studie wird explizit darauf hingewiesen, dass gerade über Einsparpotentiale im Forstbereich nur wenige empirische Erkenntnisse vorliegen und etliche Annahmen auf einer schwachen Datenbasis beruhen. Zudem sind selbst die Angaben über Speicherpotentiale nicht auf deutsche Verhältnisse übertragbar.³ Beispielsweise wurden die Annahmen über den Bereich „forest management“ lediglich aus einer US-Studie extrapoliert. Bereits die dort unterstellten Managementoptionen sind für deutsche Verhältnisse z. T. impraktikabel und politisch kaum durchsetzbar (z.B. Düngung zur Ertragssteigerung), andere zielen auf hier nicht gegebene bzw. bereits weitgehend gelöste Probleme ab (Zäunung zur Abwehr von Weidevieh, Waldbrandverhinderung, verbesserte Waldverjüngung). Darüber hinaus konzentriert sich die Studie auf ökonomische Stellschrauben und spart Fragen der politischen Realisierbarkeit weitgehend aus; auch berücksichtigen die von McKinsey genannten Einsparpotentiale keinerlei Verteilungsfragen (MCKINSEY & COMPANY 2009b:12) sowie die dadurch implizierten Anreizwirkungen. Damit bleiben wesentliche Fragen unbeantwortet, welche sich im Forstbereich bezüglich der Anerkennung von Emissionsreduktionen bzw. Senkenleistungen stellen und welche sowohl das Mengenpotential von Einsparmöglichkeiten als auch die damit verbundenen Kosten stark, teilweise sogar dominant beeinflussen können.⁴

2.3 UNFCCC-Papier “Challenges and opportunities for mitigation in the agricultural sector” (FCCC/TP/2008/8)

Das UNFCCC-Dokument FCCC/TP/2008/8 beschreibt umfassend weltweite THG-Minderungsoptionen in der Landwirtschaft und stellt Fallbeispiele vor. Dieses Dokument erscheint für die im Anschreiben enthaltene Bitte um Prüfung, ob Angaben für Deutschland geeignet sind, auf den ersten Blick am ehesten relevant. Fragen nach Minderungskos-

³ Die hier zitierte Studie (MCKINSEY & COMPANY 2009b) geht auf mehrere Länderstudien des gleichen Unternehmens zurück, unter anderem eine Länderstudie Deutschland (MCKINSEY & COMPANY 2007), die kürzlich aktualisiert wurde (MCKINSEY & COMPANY 2009a). Entsprechend der Zielsetzung dieser Studien, Emissionseinsparpotentiale (nicht aber Senkenpotentiale) zu beziffern, wird in den Länderstudien zu Deutschland zwar der landwirtschaftliche Sektor thematisiert, nicht aber der Forstsektor.

⁴ Im Bereich REDD ist in den internationalen Verhandlungen beispielsweise noch nicht konkretisiert worden, wie baselines bestimmt werden sollen, anhand derer der Umfang vermiedener Entwaldung quantifiziert werden kann; ohne eine solche Quantifizierung sind auch belastbare Kostenschätzungen schlechterdings unmöglich. Da diese Frage nicht im Zentrum des vorliegenden Erlasses steht, wird auf die derzeit im vTI entstehenden Studien zum Bereich REDD verwiesen (Leischner, in Vorbereitung). Auch für deutsche Verhältnisse sind wesentliche Fragen der Anerkennung von Waldsenken in einem post-Kyoto-Regime noch nicht abschließend geklärt. Hierauf wird weiter unten eingegangen.

ten werden allerdings nicht in ausreichendem Detail behandelt, vielmehr werden aggregierte Modellergebnisse für weltweite, mögliche Minderungsmengen bei gegebenen Minderungskosten ohne Maßnahmen-spezifische Aussagen vorgestellt.

Das globale technische Minderungspotential wird für das Jahr 2030 ohne Berücksichtigung von energetischer Biomassenutzung mit 5,5–6 Gt CO_{2äq} angegeben. Fast 90 % davon wird durch C-Akkumulation in landwirtschaftlichen Böden erklärt, durch Acker- und Weidelandmanagement und Renaturierung von Mooren, Bioenergie und Wassermanagement. Auf Methan entfallen weitere 9 % der Minderungen, und auf Lachgas lediglich 2 %. Dieser geringer Anteil von Lachgas überrascht angesichts der hohen Bedeutung der Lachgasemissionen mit ca. 40 % der THG-Emissionen aus der Weltlandwirtschaft. Dahinter steht u. a. die Annahme, dass reduzierte N-Düngung zu Verlusten an Bodenumus führt, zudem wird offenbar von einer hohen N-Effizienz in allen landwirtschaftlichen Produktionssystemen ausgegangen. Das ökonomische Potential der Minderung wird bei 20 US\$/t CO_{2äq} mit 1,5–1,6 Gt p.a. angegeben, bei 50 US\$/t mit 2,5–2,7 Gt und bei 100 US\$/t mit 4–4,3 Gt. Etwa 30 % der Minderungen werden in den Industriestaaten erwartet und 70 % in Entwicklungsländern.

Als bereits in der Umsetzung befindliche Minderungsmaßnahmen werden genannt:

- Methanminderung aus tierischer Verdauung durch Leistungssteigerungen, z. B. mittels Fütterungsmanagement und Tierzucht,
- Reduzierung von Methan- und Lachgasemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement durch aerobe Lagerung oder Biogasanlagen, verbesserte Ausbringungstechnik und Nitrifikationsinhibitoren,
- Verbessertes Weidelandmanagement (C-Akkumulation),
- Reduzierte Bodenbearbeitung (C-Akkumulation),
- Methanreduzierung aus Reisanbau,
- Intensivere landwirtschaftliche Landnutzung zur Vermeidung der Urbarmachung von Naturflächen,
- Effizienterer Energieeinsatz und Substitution fossiler durch Biomasse-basierte Energieträger.

Des Weiteren werden eine Reihe zukünftig möglicher technischer Optionen genannt, etwa der Einsatz neuer Futterzusatzstoffe, Güllekühlung, neue Züchtungstechniken und Nitrifikationsinhibitoren.

Bezüglich politischer Maßnahmen wird u. a. darauf hingewiesen, dass verschiedene umweltpolitische und die Produktionseffizienz steigernde Maßnahmen positive Wirkungen

auf die THG-Bilanzen aufweisen. Künftig sollten auf Basis des vorliegenden technischen Papiers die folgenden Schritte erfolgen:

- a) Auswahl prioritärer Maßnahmen für Minderungsmaßnahmen in der Landwirtschaft,
- b) Berücksichtigung von Aktivitäten und politische Maßnahmen auf regionaler, nationaler und globaler Ebene, Betrachtung von Produktion und Konsum,
- c) Bestimmung der notwendigen Ressourcen für eine umweltorientierte Entwicklung der Agrarsektoren, wobei entwicklungspolitische und Nachhaltigkeitsziele abzusichern sind,
- d) Absicherung der Minderungswirkungen von Maßnahmen, etwa durch die Definition und Verbreitung von „best practice“ und „best available technology“,
- e) Weiterentwicklung marktnaher, für den Agrarsektor geeigneter Instrumente und Mechanismen (CDM-Projekte, sektorale Vereinbarungen, ...),
- f) Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen für wichtige landwirtschaftliche Emissionsquellen,
- g) Identifizierung der wichtigsten Herausforderungen für die Messung, Emissionsberichterstattung und Verifizierung von Emissionen im Agrarsektor,
- h) Bestimmung der Gründe für die Differenz zwischen technischen und ökonomischem THG-Minderungspotential im Agrarsektor und Abschätzung der damit verbundenen Implikationen.

Der letzte Punkt h) verweist auf die Bedeutung der Ermittlung der Kostenwirksamkeit sowie anderer sozioökonomischer Hemmnisse für die Verbreitung THG-mindernder Maßnahmen.

Fazit: Die UNFCCC-Studie beschreibt umfassend weltweite THG-Minderungsoptionen in der Landwirtschaft und stellt Fallbeispiele vor. Minderungskosten stehen dabei jedoch nicht im Mittelpunkt. Für die Auswahl und Umsetzung von Maßnahmen im Agrarsektor werden Arbeitsschritte vorgeschlagen.

2.4 Diskussion der Dokumente

Die dargelegten politischen Überlegungen der EU-Kommission lassen einen steigenden Handlungsdruck für alle Sektoren erwarten, die nicht Teil des EU-ETS sind und auch künftig kaum am ETS teilnehmen werden. Diese Sektoren wie Verkehr, Haushalte und Landwirtschaft weisen für eine Teilnahme am ETS strukturelle Nachteile auf, u. a. wegen der nicht im erforderlichen Detail und mit angemessenen Aufwand quantifizierbaren, individuellen Emissionen und der Vielzahl an Adressaten. In der Debatte um die Verteilung

der Minderungslasten ist aus volkswirtschaftlicher Sicht zu fordern, dass die kostenwirksamsten Maßnahmen ausgewählt werden. Dabei sind Programm- und Verwaltungskosten zu berücksichtigen.

Allerdings ist zu erwarten, dass von allen Sektoren eine Mindestanstrengung bei der Emissionsminderung unternommen wird. Dies ist nicht nur als politischer Wunsch nach Ausgewogenheit zu interpretieren, sondern erscheint auch aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvoll, da in allen Sektoren Optionen gesucht und weiterentwickelt werden müssen, um die künftigen, weitreichenden Klimaschutzziele möglichst kostengünstig zu erreichen. Dazu tragen eine breit angelegte Suche nach Optionen und Anreize für die Weiterentwicklung von Technologien und Verfahren bei. Eine wichtige Herausforderung ist es schließlich, zu einem verbesserten Verständnis über das Zusammenwirken von Maßnahmen innerhalb und außerhalb des ETS beizutragen, und Lösungen vorzuschlagen, wie die Maßnahmen in den unterschiedlichen Bereiche möglichst kohärent gestaltet werden können. Eine politische Verpflichtung für den Agrarsektor und die Agrarpolitik, Anstrengungen zum Klimaschutz voranzutreiben, kann aus der hohen Stützung des Agrarsektors durch öffentliche Mittel und aus der Debatte um die Zukunft der agrarpolitischen Beihilfen erwachsen.

Für die Suche nach Ansatzstellen im Agrarsektor geben die McKinsey-Studie und das technische UNFCCC-Papier nur wenige neue Hinweise. Das vTI hat im Juni des vergangenen Jahres bereits konkrete Informationen dazu vorgestellt, in welchen Bereichen der Agrar- und Ernährungswirtschaft THG-Minderungsmaßnahmen ansetzen könnten (Osterburg et al., 2008). Die in hier vorgestellten Dokumenten reflektierte internationale Debatte um Maßnahmen im Agrarsektor zeigt die geringe Berücksichtigung von Programm- und Verwaltungskosten. Hieraus resultiert eine oft unzureichende Realitätsnähe der Einschätzungen. So werden Kohlenstoffsinks sehr hoch bewertet, während sie aufgrund von Problemen der Messung und der dauerhaften Sicherung in der deutschen Debatte wesentlich kritischer diskutiert werden. Auffällig ist schließlich die geringe Berücksichtigung des Stickstoffkreislaufs der Landwirtschaft und der Lachgas-Minderungsoptionen.

Hilfreich als Orientierungsrahmen für die weitere Erarbeitung von THG-Minderungsstrategien im Agrarsektor ist die Auflistung von künftigen Arbeitsschritten im UNFCCC-Papier. Die darin enthaltenen Arbeitsaufträge sollten schrittweise für Deutschland umgesetzt werden.

3 Potenziale zur Reduzierung von THG-Emissionen und CO₂-Vermeidungskosten für Maßnahmen im deutschen Agrarsektor

Bernhard Osterburg und Norbert Röder, Institut für Ländliche Räume

In der Studie des vTI vom Juni 2008 werden Aspekte zur Maßnahmenbewertung ausführlich erläutert. Kriterien für die Auswahl von Klimaschutzmaßnahmen im Agrarsektor sind danach: Eine vertretbare Kostenwirksamkeit im Vergleich zu Klimaschutzoptionen in anderen Sektoren, eine hohe Wirkungssicherheit, Synergien mit anderen (umwelt-)politischen Zielen und einfaches Monitoring.

Für die Bewertung von THG-Minderungsmaßnahmen wurde gemäß der Aufforderung im Erlass des BMELV eine umfangreiche Literaturanalyse vorgenommen, die auf Nachfrage gern zur Verfügung gestellt werden kann (Literaturliste siehe Anhang). Ähnlich wie bei der Beschäftigung mit der McKinsey-Studie und mit dem UNFCCC-Papier, war diese Anstrengung nur begrenzt zielführend, da es sich um Studien für unterschiedlichste Regionen und Teilaspekte handelt, die sich auch bezüglich der Annahmen und Methoden stark unterscheiden.

Die beiden im Erlass ergänzend aufgeführten Studien von Schneider et al. (2008) sowie Weiske und Michel (2007) liefern ausgewählte, nicht direkt auf Deutschland übertragbare Ergebnisse. Schneider et al. beschreiben anhand eines Modells für die USA die Zusammenhänge zwischen technischen Fortschritt und Opportunitätskosten für alternative Landnutzung wie Aufforstung und Bioenergie. Sie weisen auf Nichtlinearität zwischen den getroffenen Modellannahmen und den Minderungskosten und realisierten Potentialen hin. Weiske und Michel berechneten Minderungsmaßnahmen für deutsche Betriebe in einem einzelbetrieblichen Ansatz, bei dem die Änderung des Produktionssets, beispielsweise die Abschaffung der Schweinehaltung, als THG-Reduktion in die Kostenwirksamkeitsberechnung eingeht. Dabei wurde mit statischen Preisen und innerhalb der Systemgrenze des Einzelbetriebs kalkuliert. Damit sind die Kostenangaben nicht für sektorale Aussagen geeignet.

Aufgrund hoher Varianzen sowohl der Wirksamkeiten als auch der Kosten bestehen bei Aussagen zur Kostenwirksamkeit (Minderungskosten in €/t CO_{2äq}) in der analysierten Literatur große Unsicherheiten. Bezüglich der Vermeidungskosten sollte man unterschiedliche Kostensensitivitäten der Maßnahmen herausstellen, insbesondere wenn diese mit Einschränkungen der Produktion verbunden sind:

- Beispiel intensive Milchviehhaltung auf ackerbaulich genutzten Moorstandorten; THG- Emission: 12 Mg CO_{2äq} p.a., Milchleistung 12.000 kg Milch pro ha. Eine Änderung des Milchpreis um 1 €t pro kg führt bei einer Einstellung der Produktion zu Unterschieden in den Minderungskosten von 10 €pro t. Ähnlich sensitiv reagieren auch

- andere intensive Produktionssysteme auf Einschränkungen, z. B. Kartoffel, Bullen- und Schweinemast,
- im Vergleich dazu weisen andere Marktfrüchte geringere Kostensensitivitäten auf, z. B. Getreide und Ölsaaten,
 - Relevant sind weiterhin die Annahmen zu Abschreibungs- und Nutzungszeiträumen, insbesondere bei Investitionsgütern (Güllelager) (sehr markante Unterschiede zwischen den Studien),
 - Allgemein starke Abhängigkeit der Kosteneinschätzungen von Annahmen und unterstellten Rahmenbedingungen.

Unsicherheiten bestehen auch hinsichtlich des Umfanges der unterstellten THG-Emissionen und des Vorzeichens der Maßnahmenwirkung, z. B. für die folgenden Maßnahmen:

- pfluglose Bewirtschaftung,
- Weidegang oder mehr Stallhaltung in der Rinderhaltung,
- Wechselwirkung zwischen Emissionen aus Grünlandumbruch wg. höherem Maisanteil in der Rinderhaltung und Einsparung wegen geringerem Eiweißüberschuss im Rinderfutter,
- Wechselwirkungen im Bereich verbesserte Genetik in der Tierhaltung, notwendiger Anpassungen der Ration; Änderungen der Nutzungsdauer und angestrebter Produktmix im Bereich Rinder (Milch, Fleisch),
- Additivität der Strategien (Antibiotika in der Wiederkäuerfütterung und Biogasproduktion), Kompatibilität und Wirkungen sind fraglich (regelmäßiger Antibiotikaeinsatz ist in EU ausgeschlossen, aber ein Beispiel für chemisch-technische Minderungsoptionen in der internationalen Literatur),
- Unsicherheiten über das Einsparpotential durch Vergärung in Biogasanlagen.

Zudem ist auf Preiseffekte und „leakage“ hinzuweisen (vgl. z. B. Schneider und McCarl, 2006; Weersink et al., 2005), die in vielen Fällen unberücksichtigt bleiben. Da es für die Anrechnung positiver und negativer, nicht marktlich bewerteter Nebeneffekte (z. B. Reduzierung von N-Überschüssen, Naturschutz in Moorgebieten) keine Methode der systematischen Berücksichtigung gibt, werden solche, für die Bewertung wichtigen Aspekte i. d. R. nicht berücksichtigt.

Die Literaturanalyse hat somit keine konsistenten Ergebnisse zu Potentialen und Kosten von THG-Minderungsmaßnahmen im deutschen Agrarsektor ergeben. Vor diesem Hintergrund wird vorgeschlagen, anhand der in der Studie des vTI vom Juni 2008 benannten Untersuchungsschwerpunkte die eigenen Anstrengungen zur Ermittlung von Minderungs-

potentialen und Kosten in einem konsistenten Untersuchungsrahmen voranzutreiben. Die empfohlenen Schwerpunkte innerhalb der Bereiche Landnutzung und Agrarproduktion sind:

- Methanemissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung sollten durch verstärkte Kofermentierung in Biogasanlagen und Lagerung in gasdichten Gärrestlagern reduziert werden, gerade auch durch Erhöhung des Wirtschaftsdüngeranteils in bereits bestehenden Anlagen. Außerdem fehlt es nach wie vor an einem Monitoring der Anlagen, weshalb bereits erzielte THG-Minderungen mangels statistischer Daten nicht im deutschen Inventar berichtet werden können. Hier bietet sich eine voraussichtlich sehr kostenwirksame Möglichkeit der Anrechnung durch statistische Erfassung der in Biogasanlagen verwendeten Gülle sowie der Lagerungsbedingungen.
- Maßnahmen zur Steigerung der N-Ausnutzung in der Landwirtschaft und damit zur Reduzierung der N₂O-Emissionen sollten so ausgerichtet sein, dass nicht produktiv eingesetzte N-Mengen vermieden werden. Konkret sollten Maßnahmen zur stärkeren Verbreitung N-reduzierter Fütterung und zur Steigerung der Ausnutzung von N-Düngern in der Landwirtschaft entwickelt und umgesetzt werden. Beide Bereiche versprechen eine hohe Kostenwirksamkeit der THG-Minderung auf Betriebsebene, bezüglich der Umsetzung mit Hilfe von Politikmaßnahmen sind aber hohe Verwaltungs- und Beratungskosten zu erwarten. Parallel dazu sollten die Düngeverordnung, und hier insbesondere die Vorgaben zu maximalen Nährstoffüberschüssen, und ihre Umsetzung in den Ländern als grundlegende Maßnahme zur Verbesserung der N-Düngung analysiert und ggf. zeitnah nachjustiert werden. N-Überschüsse stellen zwei der problematischsten Bestandteile der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie dar (N-Bilanz, NH₃-Emissionen), dem Handlungsbedarf in diesem Bereich sollte durch eine integrierte Vorgehensweise unter Berücksichtigung von Klimaschutzbeiträgen entsprochen werden.
- Renaturierung landwirtschaftlich genutzter Moore, auch in Verbindung mit Optionen zur Produktion von Biomasse; Vermeidung einer intensiven Ackernutzung auf solchen Standorten.
- Angesichts des beschleunigten Umbruchs von Grünland zur Umwandlung in Ackerland seit 2005 sollte ein flächenspezifischer Schutz des Grünlands im Rahmen von Cross Compliance erwogen werden, der ggf. zusätzlich über Natur- und Wasserschutzgesetze abzusichern wäre. Grünland auf Moorböden und auf anderen humusreicheren Standorten sollte nicht mehr umgebrochen werden dürfen.

Daneben wurde der Forschungsbedarf für eine Reihe weiterer Maßnahmen benannt. Die Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen ohne Berücksichtigung anderer Zielbeiträge wird nach Einschätzungen am vTI nur selten zu großen Minderungspotentialen führen, da die Minderungskosten oft vergleichsweise hoch liegen. Ausgenommen sind hierbei Wirkungen von ohnehin stattfindenden technischen Fortschritten, beispielsweise in der Tierfütte-

rung und Tierleistung. In diesem Fall wird die Wirkung der effizienteren Produktion auch ökonomisch am Markt bewertet, da sich betriebswirtschaftliche Vorteile ergeben.

4 Potenziale für den Schutz und Aufbau von C-Senken sowie CO₂-Vermeidungskosten für Maßnahmen im deutschen Forstsektor

Peter Elsasser und, Matthias Dieter (OEF), Joachim Krug (WFW)

4.1 Generelle Vorbemerkung

Im Unterschied zum Agrarbereich bewirkt die in Deutschland und weiten Teilen Europas betriebene nachhaltige forstwirtschaftliche Bodennutzung keine nennenswerten THG-Emissionen. In weltweitem Maßstab ist Entwaldung zwar eine der größten Emissionsquellen für Kohlenstoff; dieses Problem ist aber für Deutschland nicht gegeben, wo die Waldflächenbilanz positiv ist – es betrifft in erster Linie tropische Entwicklungsländer.

In sehr geringem Umfang können sich auch in Deutschland im Bereich „Landnutzungsänderungen“ durch Waldumwandlungen Emissionen ergeben – trotz positiver Waldflächenbilanz –, weil bei Aufforstungen die Biomasse nur vergleichsweise langsam akkumuliert, die akkumulierte Biomasse bei Waldumwandlungen jedoch auf einen Schlag entfernt wird. Per Saldo werden diese Emissionen durch den Zuwachs auf den aufgeforsteten Flächen sowie auch in den bereits bestehenden Wäldern kompensiert.⁵ Die Ursachen für solche Waldumwandlungen liegen zudem i.d.R. außerhalb des Forstbereiches (z.B. Flächenbedarf für Siedlungen und Verkehrswege) und sind durch forstliche Maßnahmen nicht zu beeinflussen. Innerhalb des Forstbereiches können auch nachhaltig bewirtschaftete Wälder in Deutschland (Bestände und Böden) zu Kohlenstoffquellen werden, wenn die Bestände geerntet werden oder natürlichen Einwirkungen zum Opfer fallen (Stürme, Feuer). Per Saldo werden diese Entnahmen bei nachhaltiger Forstwirtschaft aber durch den Zuwachs und die damit einhergehende Kohlenstoffakkumulation der nachfolgenden Jungbestände (über-) kompensiert. Wälder in Deutschland sind daher insgesamt eine Nettosenke für Kohlenstoff (Nationaler Inventarbericht, UBA 2009:370 ff.).⁶ Der durch die Holzernte

⁵ Soweit diese Emissionen nicht vollständig durch Aufforstungen kompensiert werden, können sie im Rahmen des Kyoto-Protokolls auch durch den Zuwachs im bestehenden Wald (Waldbewirtschaftung gemäß Art. 3.4 KP) bis zu einer Obergrenze von 9 Mt C/a ausgeglichen werden (Entscheidung 16/CMP.1, Annex, § 10).

⁶ Die derzeit vorliegenden Daten erlauben lediglich Schätzungen der Kohlenstoffveränderungen in der Biomasse. Für Totholz, Streu und Böden liegen keine belastbaren Schätzungen vor; im Nationalen Inventarbericht wird angenommen, dass sich diese Vorräte unter bestehendem Wald nicht ändern. CO₂-Emissionen aus der Kalkung von Waldböden betragen rund 75-210 Gg CO₂/a, mit abnehmender Tendenz. Eine Stickstoffdüngung von Wäldern ist in Deutschland nicht üblich. N₂O-Emissionen aus Entwässerung von Waldböden können mangels verlässlicher Daten nicht berichtet werden (sie wurden für die Jahre 1990-1999 auf insgesamt rund 14 Gg pro Jahr geschätzt, allerdings einschließlich „indirekter“ N₂O Emissionen aus Quellen außerhalb der Forstwirtschaft). Die Emissionen sonstiger Treibhausgase aus Waldbrand und der kontrollierten Verbrennung

entnommene Kohlenstoff wird zudem zu erheblichen Teilen längerfristig in Holzprodukten gespeichert bzw. dient der Substitution emissionsintensiver fossiler Energiequellen.

Damit entfällt für den Forstbereich grundsätzlich auch die Möglichkeit der *Emissionsreduktion* (soweit diese auf eine Umstellung von Produktionsverfahren bei gleichbleibenden Produktionszielen abstellt). Gleichwohl sind im Forst- und Holzsektor Potentiale zur zusätzlichen Kohlenstoff*sequestrierung* gegeben.⁷

4.2 Senkenpotentiale und Vermeidungskosten in Deutschland

Möglichkeiten zur Vergrößerung der Kohlenstoffspeicher bestehen in Deutschland grundsätzlich in zwei Bereichen: der Aufforstung bisher unbewaldeter Flächen (entsprechend Art. 3.3 KP) sowie der Vergrößerung der Speicherung in bereits bestehendem Wald (entsprechend Art. 3.4 KP). Erstere ist im Rahmen des Kyoto-Protokolls unbegrenzt anrechenbar; die zweitgenannte Option unterliegt dagegen länderspezifischen Anerkennungsgrenzen, deren zukünftige Modalitäten zudem für das Post-Kyoto-Regime noch in der Diskussion sind.

4.2.1 Aufforstung

Insbesondere **landwirtschaftliche Grenzertragsflächen** stellen grundsätzlich ein Flächenpotential für Erstaufforstungen dar, dessen Mobilisierbarkeit in der Vergangenheit allerdings stark überschätzt worden ist.⁸ Die geförderten Erstaufforstungen sind in

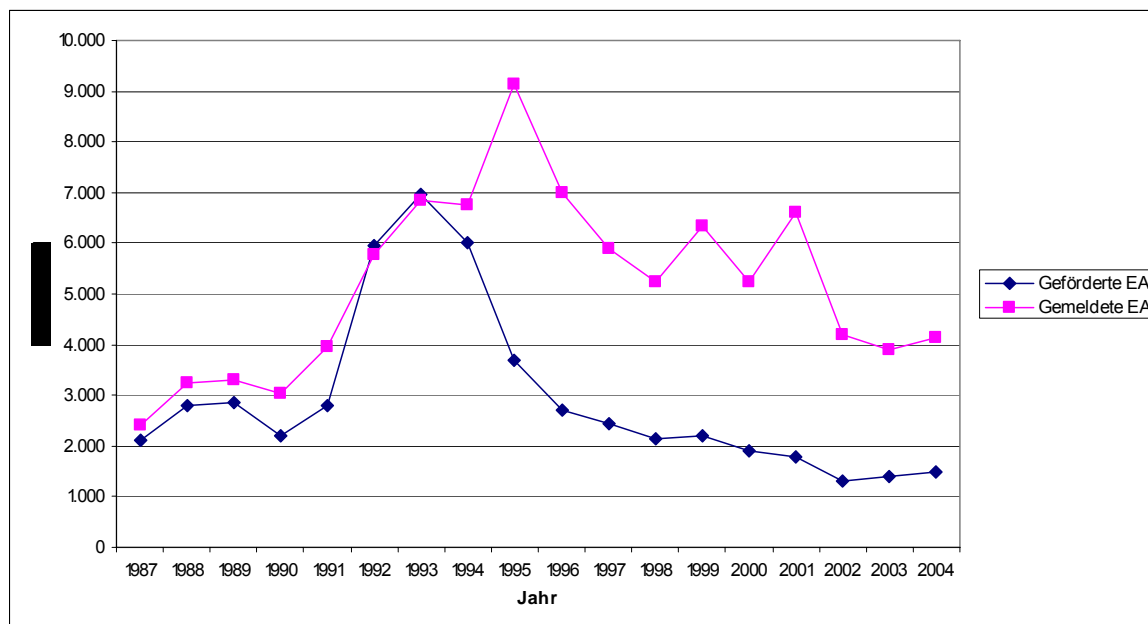
von Biomasse wurden als vernachlässigbar eingestuft, weil in Deutschland nur geringe Flächen von Waldbränden betroffen sind und Schlagraum nur in Ausnahmefällen z.B. bei der Borkenkäferbekämpfung verbrannt wird. Das flächige Abbrennen von Vegetationsdecken ist in Deutschland verboten (UBA 2009:372).

⁷ Moore (unter Land- wie unter Forstwirtschaft) stellen einen Sonderfall dar, von dem an dieser Stelle abgesehen wird (s. dazu FREIBAUER et al. 2009). Die Degradation von Mooren nach Entwässerung bewirkt starke Verluste der Treibhausgase CO₂ und N₂O. Wiedervernässung kann demgegenüber durch die Torfakkumulation zusätzliches CO₂ binden; dem stehen allerdings auch CH₄- und CO₂-Emissionen während der Torfbildung gegenüber. Ob dies per Saldo zu einer Quellen- oder Senkenwirkung führt, ist maßgeblich von dem jeweiligen Wasserstand unter Flur abhängig. Zur Abschätzung des Senkenpotentials durch die Renaturierung von Waldmooren liegen nach FREIBAUER et al. 2009 (S.24) noch keine belastbaren Werte für Mitteleuropa vor.

⁸ So wurde Mitte der Siebziger Jahre noch davon ausgegangen, dass im gesamten (damaligen) Bundesgebiet etwa 400.000-500.000 ha Grenzertragsflächen innerhalb eines Jahrzehnts brachfallen würden, die dann zur Erstaufforstung zur Verfügung stünden (so in der Gesetzesbegründung zu § 10 BWaldG [Erstaufforstung], zit. n. KLOSE & ORF 1998:420). Tatsächlich wurden im Jahrzehnt zwischen 1979 und 1988 insgesamt nur etwa 36.000 ha aufgeforstet, darunter lediglich gut 20.000 ha geförderte Erstaufforstungen (beide Zahlen schließen außerlandwirtschaftliche Flächen ein; PLOCHMANN et al.

Deutschland lediglich Anfang der Neunziger Jahre über 5.000 ha/a hinausgekommen und seitdem deutlich zurückgegangen, seit der Jahrtausendwende auf unter 2.000 ha/a. Auch wenn man die von den Ländern gemeldeten Zahlen außerhalb der GAK-Förderung mit einbezieht, beträgt die verbuchte Aufforstungsfläche der letzten Jahre lediglich etwa 4.000 ha/a (SETZER 2006; s. Abbildung 1).⁹

Abbildung 1: Beitrag der Erstaufforstungs-Förderung zur Waldmehrung



Quelle: SETZER 2006

Der durchschnittliche Zuwachs an Biomasse auf den Erstaufforstungsflächen kann näherungsweise mit etwa 16,5 tCO₂/ha/a veranschlagt werden.¹⁰ Die Förderung der Erstauffors-

1991:6 ff.). Auch für die Neuen Bundesländer wurde nach der Wende zunächst ein erhebliches Aufforstungspotential von etwa 373.000 ha vermutet (VOLZ 1991); auch hier sind die erwarteten großflächigen Aufforstungen aber ausgeblieben (WEBER & SUDA 1992:27).

⁹ Die gesamte Waldzunahme in Deutschland übertrifft die planmäßige Erstaufforstung deutlich, und zwar um eine volle Größenordnung. Auf Basis eines Vergleiches zwischen zweiter Bundeswaldinventur und erster (in den alten Bundesländern) bzw. den Datenspeichern Waldfonds (in den neuen Bundesländern) ergibt sich für die Jahre 1993-2004 eine Waldflächenzunahme von durchschnittlich 22.000 ha pro Jahr (BORMANN et al. 2007). Es ist nicht ganz eindeutig, worauf diese Zunahme zurückzuführen ist; vermutlich handelt es sich nur zum Teil um flächige Waldzunahmen (z.B. verbuschende bzw. zuwaldende Almen und Brachen), zu einem anderen Teil um Linienverschiebungen zwischen Wald und Feld, und zu einem weiteren Teil möglicherweise auch um methodische Artefakte aufgrund von Unterschieden der jeweiligen Erhebungsmethoden. Gleichwohl bleibt festzuhalten, dass die Waldzunahme insgesamt sehr deutlich über der planmäßigen (GAK-geförderten) Erstaufforstung liegt.

¹⁰ Zugrundegelegt wurde ein durchschnittlicher Derbholzuwachs aller Baumarten im Hauptbestand von 12,1 Vfm/ha/a (laut BWI 2, www.bundeswaldinventur.de). 1 Vfm (m.R.) entspricht 1,44 m³ Baumbiomasse [m³BBM] (Durchschnitt der BBM-Umrechnungsfaktoren aus ELSASSER 2008b, Tab.1, gewichtet mit Volumina der Baumarten laut Ergebnisdatenbank der BWI 2). Bei einem mittleren Kohlen-

tung wird über die GAK mit öffentlichen Mitteln i.H.v. durchschnittlich 540 €/ha/a bezuschusst;¹¹ daher lassen sich für die derzeit ohnehin realisierte Erstaufforstung Förderkosten von knapp 33 €/t CO₂ errechnen. Aus staatlicher Sicht stellt die Förderung den Hebel dar, über den ggf. eine Steigerung der Erstaufforstungstätigkeit zugunsten einer verstärkten Kohlenstoff-Einbindung realisiert werden könnte. Insoweit die Landeigentümer durch ökonomische Anreize zu Erstaufforstungen motivierbar sind, wären also zusätzliche Mittel erforderlich; die hier genannten 33 €/t CO₂ stellen für eine Förderung zusätzlicher Erstaufforstungen zugunsten der Kohlenstoffbindung eine Kostenuntergrenze dar.

Einer Steigerung der Erstaufforstungstätigkeit stehen aus Sicht der Grundeigentümer allerdings Hindernisse entgegen. Nach den empirischen Ergebnissen verschiedener Befragungen sind dies nicht nur die hohen Anfangsinvestitionen, die zumindest für künstliche Bestandesbegründungen typisch sind. Auch weitere wirtschaftliche Gründe stellen für die Grundeigentümer wesentliche Hürden dar, kurz die generell geringere Rentabilität forstwirtschaftlicher Produktion sowie der Verlust der Dispositionsfreiheit über die Bodennutzung aufgrund des Walderhaltungsgebotes im Bundeswaldgesetz. Solchen ökonomischen Hindernissen wird zwar durch die Förderung begegnet; im „Subventionswettbewerb“ mit der landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung ist die forstliche Nutzung jedoch tendenziell unterlegen. Für landwirtschaftliche Flächen liegt eine Nutzung zur Nahrungsmittel- oder auch zur Bioenergieproduktion auf der Hand. Aus der Tatsache, dass 2008 erstmals die obligatorische Flächenstilllegung der EG ausgesetzt wurde, lassen sich erhebliche Anreize erkennen, die landwirtschaftliche Nutzung beizubehalten. Dazu kommt, dass potentiell rentablere Alternativnutzungen landwirtschaftlicher Flächen gegenüber der forstlichen Flächennutzung auch rechtlich begünstigt werden – namentlich die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf Stilllegungsflächen, die nicht dem Umwandlungsvorbehalt des Bundeswaldgesetzes unterliegt (BMELVBBG Art.62a §1 Abs.1 Nr.1)¹². Dieser Wettbewerbsnachteil wird sich zukünftig weiter verschärfen, falls im Zuge einer Novellierung des BWALDG Kurzumtriebsplantagen und sonstige Agroforstsysteme generell vom Geltungsbereich des BWALDG – und damit auch von dessen Rodungsvorbehalt – ausgenommen

stoffgehalt von 26 % (volumengewichteter Durchschnitts-Konversionsfaktor, a.a.O, Tab.1) sind in 1,44 m³BBM 0,3744 t C gespeichert, umgerechnet sind dies 1,3728 t CO₂. – Bei dieser überschlägigen Berechnung bleibt außer Betracht, dass die jeweiligen Flächen je nach Ausgangslage auch ohne Aufforstung ggf. Kohlenstoff einbinden würden; in diesem Fall ist die zusätzliche Netto-Kohlenstoffbindung der Aufforstung also geringer, und die Kosten für zusätzliche Kohlenstoffeinbindung folglich entsprechend höher.

¹¹ Durchschnitt der Flächenländer (nach Auswertung der Erstaufforstungsförderung im Rahmen der ELER-VO) für das Jahr 2006. Der Durchschnittswert umfasst Bundes-, Landes- und EAGFL-Mittel und enthält Beihilfen für Investitionen zur Bestandesbegründung, für Kulturpflege sowie auch die Erstaufforstungsprämie.

¹² Gesetz zur Bereinigung des Bundesrechts im Zuständigkeitsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vom 13.4.2006, BGBl.I S.855

werden (vgl. Deutscher Bundestag, Plenarprotokoll 16/138, Anlage 2)¹³. Insgesamt kann festgehalten werden, dass eine deutliche Ausweitung der bisherigen jährlichen Erstaufforstungsfläche landwirtschaftlicher Flächen auch aufgrund institutioneller Hemmnisse kaum realisierbar erscheint.

Außerhalb der landwirtschaftlichen Flächen stehen auch **weitere Flächenreservoir**e zur Verfügung, insbesondere ehemalige Braunkohletagebauflächen, urbane und suburbane Brachen wie auch ehemalige Militärflächen. Für die Tagebaurekultivierung wurde ein Flächenpotential von über 60.000 ha ermittelt, das in absehbarer Zeit zu rekultivieren ist; dazu kommen stadtbegleitende Brachflächen in einer Größenordnung von grob etwa 100.000 ha sowie ehemalige Militärflächen in etwa der gleichen Größenordnung (ELSASSER 2008a). Für diese Flächen stellt sich die Frage nach ihrer zukünftigen Nutzung. In vielen Fällen kann dies auf Wiederbewaldung (durch Aufforstung oder Sukzession) hinauslaufen. Auch für diese „sonstigen“ Flächen existieren aber i.d.R. Nutzungsalternativen. Bei den unterschiedlichen Rekultivierungsflächen kommen teilweise gewerbliche Nutzungsmöglichkeiten ins Spiel, teilweise auch Flächennutzungen für den Landschafts- und Naturschutz und für Erholungszwecke. Die Wahl zwischen diesen Möglichkeiten hängt stark von der jeweiligen Eigentümerzielsetzung ab – davon, ob Produktions- oder Wiederherstellungsziele dominieren, und inwieweit öffentliche Belange in die Zielsetzung einfließen. Da Produktionsziele hier eher die Ausnahme darstellen, existieren kaum ökonomische Hebel, um in diesem Bereich die Aufforstungstätigkeit wirksam zu steigern.¹⁴ Ähnliches gilt auch für das Flächenpotential durch Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, welche den Flächenverbrauch durch die Siedlungs- und Verkehrsentwicklung kompensieren sollen und die heute primär unter Naturschutzgesichtspunkten gestaltet werden. Der entsprechende Flächenumfang wird auf etwa 40.000 ha/a geschätzt (WAGENER 2009:112). Eine stärkere Berücksichtigung des Aspekts der Kohlenstoffbindung könnte auch bei diesen Flächen Aufforstungen begünstigen; die Entscheidungen darüber unterliegen aber weniger ökonomischen als politischen Kalkülen.

¹³ Stenographischer Bericht der 138. Sitzung des Deutschen Bundestages, 16. Wahlperiode, v.23.1.2008 – Antwort der Parl. Staatssekretärin Ursula Heinen –, <http://dip.bundestag.de/btp/16/16138.pdf>

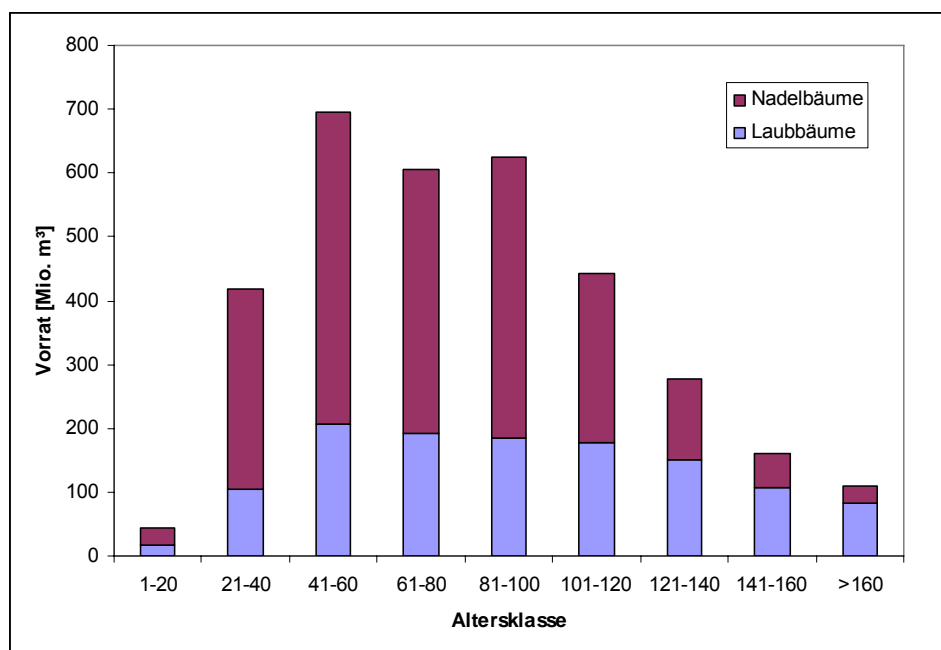
¹⁴ Zudem können für den Bereich der „sonstigen“ Flächenreservoirer weder Bestandesbegründungs- noch Opportunitätskosten hinreichend eingegrenzt werden. Bestandesbegründungskosten lassen sich zwar theoretisch näherungsweise anhand der landwirtschaftlichen Erstaufforstungskosten eingrenzen; gerade für die hier genannten Flächenreservoirer bietet sich aber oft auch eine Nutzung der – im Wesentlichen kostenfreien – natürlichen Sukzession an. Auch Opportunitätskosten sind aufgrund der Vielgestaltigkeit der möglichen Flächennutzungsalternativen nicht zusammenfassend bezifferbar; bei Nutzungszielen für Naturschutz oder Erholung sind entgangene Ertragsmöglichkeiten für die Flächeneigentümer auch nicht entscheidungsrelevant.

4.2.2 Maßnahmen im bestehenden Wald („forest management“)

Gezielte Modifikationen der bisherigen Bewirtschaftungspraxis im bereits bestehenden Wald stellen eine weitere Möglichkeit zur zusätzlichen Kohlenstoffbindung dar. Aufgrund der Langfristigkeit der forstlichen Produktion wirken die hier in Betracht kommenden Maßnahmen zumeist allerdings eher langfristig; ihre Ergebnisse werden zudem stark von der gegebenen Ausgangssituation (Altersverteilung) sowie gegebenenfalls auch von Kalamitäten (insbesondere Sturmwürfen) beeinflusst.

Der derzeitige Altersaufbau der deutschen Wälder ermöglicht aufgrund eines Überhangs in den jüngeren Altersklassen derzeit noch einen weiteren Vorratsaufbau im Vergleich zur heutigen Situation (Abbildung 2).

Abbildung 2: Holzvorräte nach Altersklassen 2002 (Basis: Bundeswaldinventur)



Betrachtet man die Vorratsentwicklung über einen längeren Zeitraum, so zeigt sich: In der Vergangenheit sind die Holzvorräte in den Wäldern Deutschlands insgesamt gestiegen; sie betragen nach der jüngsten Bundeswaldinventur im Jahr 2002 rund 3,4 Mrd. m³ (BMVEL 2004:33). Im Vergleich der beiden bisherigen Bundeswaldinventuren haben die Holzvorräte zwischen 1987 und 2002 durchschnittlich um 55 m³/ha zugenommen (BMVEL 2004:55ff.; nur alte Bundesländer). An das Klimasekretariat wurde auf dieser Basis für die alten Bundesländer eine Zunahme der C-Vorräte zwischen den beiden Forstinventuren um netto 1,52 t/ha/a gemeldet (UBA 2006:332), und für die neuen Bundesländer eine von 2,32

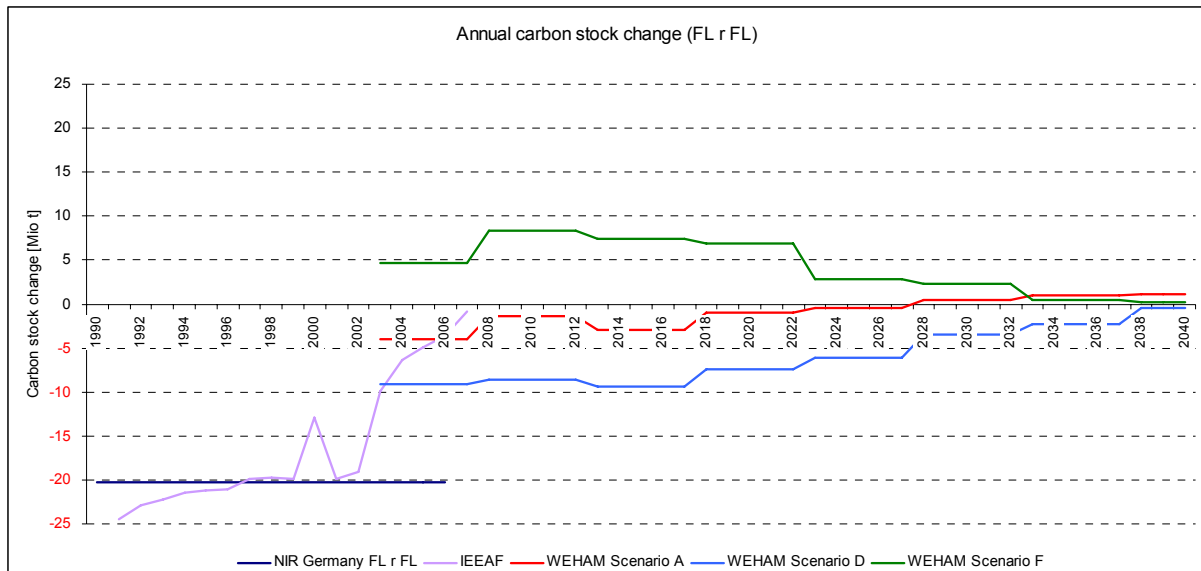
t/ha/a, welche auf Basis von Bundeswaldinventur 2 und Forsteinrichtungsdaten errechnet worden ist.¹⁵ Für das Jahr 2006 wurde im Nationalen Inventarbericht für Gesamtdeutschland (NIR) eine Zunahme der Kohlenstoffvorräte von insgesamt 78,70 Mt CO₂ (=21,46 Mt C) extrapoliert; hiervon entfällt der überwiegende Teil auf die Vorratzzunahme im bestehenden Wald (nur etwa 6 % davon ist durch Neuwaldflächen bedingt; BMELV 2008:Tab.1).¹⁶

Zur Abschätzung der zukünftigen Vorratsentwicklung müssen Prognosen herangezogen werden. Die längerfristige Vorratsentwicklung ist mit Hilfe des Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodells WEHAM prognostiziert worden, das auf den Daten der Bundeswaldinventur 2 aufbaut. Mit diesem Modell wurden Zuwachs, Rohholzpotential und Vorratsentwicklung in Fünfjahresschritten bis 2042 abgeschätzt. Dem Basisszenario von WEHAM (Szenario A) liegen Steuergrößen zugrunde, die mit den Bundesländern abgestimmt worden sind (dies betrifft vor allem notwendige Annahmen über Umtriebszeiten und Zielstärken). Das Ergebnis ist als offizielle Potentialabschätzung des BMVEL veröffentlicht (BMVEL 2005). Nach diesem Szenario ist zunächst noch etwa 20 Jahre mit weiter steigenden Vorräten im Wald zu rechnen, bedingt durch den derzeitigen Altersaufbau der deutschen Wälder in Verbindung mit relativ langen Umtriebszeiten und der allgemeinen Verpflichtung zur Nachhaltigkeit. POLLEY & KROIHER 2006 haben diese Ergebnisse variiert, indem sie unterschiedliche Szenarien der Waldbehandlung (u.a. durch Variation der Endnutzungsalter) unterstellt haben. In Bezug auf diese Szenarien bildet Szenario A eine mittlere Entwicklung der Vorräte ab. Die langfristig erzielbare Speicherleistung nähert sich bei allen untersuchten Szenarien zum Ende des betrachteten Zeitraums hin an, bei allerdings unterschiedlicher Vorratsentwicklung. Beispielsweise findet in „Szenario F“ kein Vorratsaufbau statt – vielmehr unterstellt dieses Szenario einen Abbau der Vorräte auf das Niveau von 1987. Abbildung 3 bietet eine zusammenfassende Übersicht der auf dieser Basis errechneten jährlichen Veränderungen der tatsächlichen und prognostizierten C-Vorräte in den Wäldern Deutschlands von 1990-2040.

¹⁵ Um zu kompensieren, dass die Forsteinrichtungsdaten die tatsächlichen Vorräte vermutlich unterschätzt haben, wurde dazu ein um 10 % höherer Ausgangsvorrat angenommen (UBA 2006:332).

¹⁶ Für „Neuwaldflächen“ werden 4,7 Mt CO₂ gemeldet, für die „Verbleibende Waldfläche“ 74,1 Mt CO₂. Für „Landnutzungswandel“ werden keine Zahlen mitgeteilt.

Abbildung 3: Jährliche Veränderung der C-Vorräte im bestehenden Wald (ohne Aufforstungen)



1990-2007 auf Basis von IEEAF-Daten; 2003-2040 auf Basis verschiedener WEHAM-Szenarien. NIR enthält die offiziell an IPCC gemeldeten Daten (konstante Extrapolation auf Basis von BWI-Daten. FL r FL = Forest Land remaining Forest Land). Positive Werte stellen Emissionen dar, negative Werte die Speicherleistung des Waldes.
Quelle: KRUG et al. 2009 (eingereicht)

Aus Abbildung 5 lässt sich ableiten, in welchem Rahmen sich das Potential an zusätzlicher Kohlenstoffspeicherung im deutschen Wald bewegt, und wie sich dieser Rahmen im Zeitverlauf ändert. Unterstellte man einen weiteren Vorratsaufbau, indem die Umtriebszeiten gegenüber dem Basisszenario um 20 Jahre und die Zieldurchmesser um 10 cm heraufgesetzt würden¹⁷ (Annahmen des Szenario D), so wären theoretisch noch weitere 20 Jahre zusätzliche Speicherleistungen von teilweise weit über 5 Mio tC/a erzielbar.

Eine nähere Betrachtung der damit verbundenen Opportunitätskosten erübrigt sich aber, da ein Vorratsaufbau im beschriebenen Maße nicht mit den derzeitigen und zukünftig absehbaren internationalen Anerkennungsregeln für Waldsenken konsistent ist.¹⁸ Die Anrech-

¹⁷ DIETER & ELSASSER 2004 analysieren die Möglichkeiten, auf betrieblicher Ebene C-Vorratsanreicherung zu betreiben, unter Berücksichtigung von Wirksamkeit und Opportunitätskosten. Unter den dort betrachteten „forest management“-Optionen (Umtriebszeitverlängerung, Baumartenwechsel zu ertragreicheren Baumarten, Erhöhung der Bestockungsdichte sowie Überführung von Altersklassenwald in Plenterwald und Steigerung des Totholzanteils) erscheinen nur die drei erstgenannten unter hiesigen Verhältnissen überhaupt als realisierbar.

¹⁸ Auch abseits der Frage der Anerkennungsfähigkeit der Speicherleistung wäre eine Orientierung an diesem Szenario irreführend. Zum einen ist die Auswirkung auf die Emissionsbilanz Deutschlands wesentlich geringer als das Szenario vermuten lässt, da ein Vorratsaufbau im Wald sowohl den C-Speicher in Holzprodukten verkleinert als auch die Möglichkeiten der Substitution emissionsintensiver Produkte und Energiequellen beschneidet; zum anderen sind mit verlängerten Umtriebszeiten steigen-

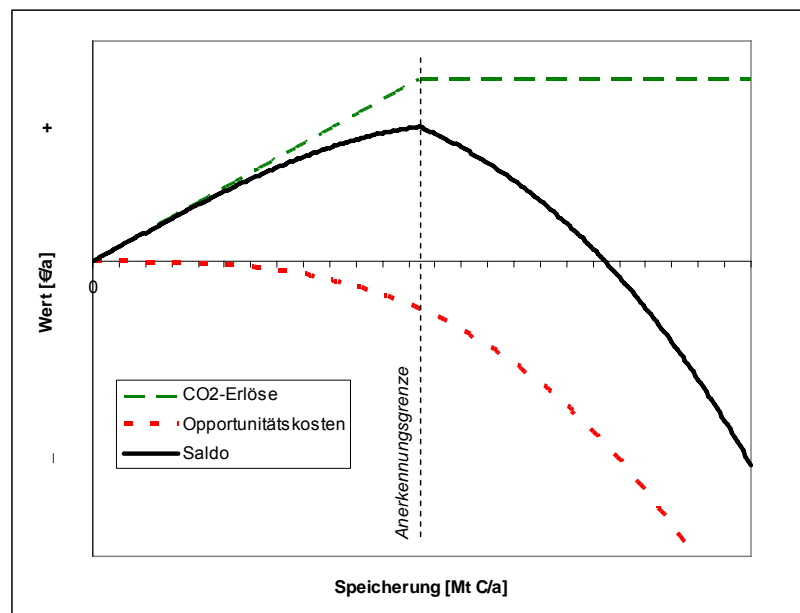
nung der Vorratzzunahme aus Waldbewirtschaftung ist für Deutschland in der ersten Verpflichtungsperiode 2008-2012 auf 1,24 Mt C/a begrenzt (Entscheidung 16/CMP.1 der UNFCCC¹⁹, Appendix); jede darüber hinaus gehende zusätzliche Kohlenstoffaufnahme im Wald ist im Rahmen des Kyoto-Protokolls wertlos, weil sie nach den einschlägigen Regularien nicht anerkannt wird. Da die Anerkennungsregeln für das Nachfolgeabkommen noch nicht vereinbart sind, ist es für die Zukunft sogar möglich, dass zusätzliche Speicherleistungen zeitweise als Quelle statt als Senke verbucht werden (s.u.).

Damit ist nicht das gesamte physische Speicherpotential von Interesse, sondern lediglich dessen anerkennungsfähiger Teil. Soweit die Kohlenstoffspeicherung in den deutschen Wäldern die Anerkennungsgrenze bereits durch „business as usual“ erreicht (nach dem WEHAM-Basiszenario A ist dies bis etwa 2020 zu erwarten), sind für die Erfüllung dieses Mengenziels keine zusätzlichen (ggf. kostenträchtigen) Maßnahmen erforderlich; vielmehr ermöglicht diese Situation sogar Einnahmen aus dem zwischenstaatlichen Emissionshandel. Für die erste Verpflichtungsperiode können diese Einnahmen auf 454,6 Mio € (91 Mio. €/a) veranschlagt werden, wenn dazu ein Preis von 20 €/AAU unterstellt wird (ELSASSER 2008b). Ihnen sind die entsprechenden Opportunitätskosten gegenüberzustellen. Deren Höhe ist – im Unterschied zu Grenzerlösen aus der Speicherleistung – mengenabhängig: Je stärker der Speicher vergrößert werden soll, desto mehr müssen zu diesem Zweck gegebenenfalls auch nutzungsreife und hochwertige Bestände aus der Holznutzung genommen werden. Abbildung 4 zeigt schematisch den Verlauf der Erlöse, der steigenden Grenzkosten (in der Abbildung negativ abgetragen), und des Saldos aus beiden in kumulierter Form.

de Untergangsrisiken (Sturmwurf) sowie auch zunehmende Zuwachsdepressionen zu erwarten, die selbst das im Wald realisierbare Speicherpotential reduzieren. Schließlich würde der mit der Umtriebszeiterhöhung verbundene Nutzungsaufschub nicht nur für die Forstbetriebe erhebliche Opportunitätskosten aufwerfen, sondern auch der nachgelagerten Holzwirtschaft einen wesentlichen Teil der Rohstoffbasis entziehen.

¹⁹ Diese länderspezifisch ausgehandelten Anrechnungsgrenzen dienen dazu, „natürlich“ ablaufende Zunahmeprozesse (insbesondere durch indirekte Stickstoffeinträge und die gegebene Altersstruktur der Wälder) von der Anrechnung auszuschließen.

Abbildung 4: Kumulierter Verlauf von CO₂-Erlösen, Opportunitätskosten und deren Saldo in Abhängigkeit von der Speichermenge (schematisch)



Quelle: ELSASSER 2008b

Die dargestellten Kurven zeigen, dass der Nutzensaldo einer Vorratsanreicherung bis zur Höhe der Anrechnungsgrenze abgeschwächt steigt, mit weiterer Vorratsanreicherung im Wald aber abrupt umkehrt, zunehmend sinkt und schließlich auch negativ werden kann. Die Kurven sind nicht parametrisiert, weil dafür Eingangsdaten u.a. über die tatsächlichen Mengen, Sortierungen und Werte sämtlicher aus dem Wald bereitstellbaren Rohholzsortimente fehlen. Überschlägig lässt sich aber abschätzen, ob aus gesamtwirtschaftlicher Sicht Verluste eher durch eine Über- oder durch eine Untererfüllung des Mengenziels (1,24 Mt C/a) induziert würden: Bei einem CO₂-Preis von 20 €/t beträgt der Bruttoerlös eines Vorratsfestmeters Rohholz als Kohlenstoffspeicher etwa 27 €/m³.²⁰ Der Erlös wird am Ende der Verpflichtungsperiode fällig. Demgegenüber sind durchschnittliche Bruttoholzerlöse deutlich höher; umgerechnet auf den Vorratsfestmeter betragen sie im Jahr 2008 über alle Sortimente hinweg²¹ etwa 40 €/m³,²² oder gut 29 €/t CO₂ – also gut 9 €/t

²⁰ Berechnungsgrundlagen wie in Fußnote 10.

²¹ Es sei daran erinnert, dass bei forstlichen Erntemaßnahmen zwangsläufig unterschiedliche Sortimente anfallen; eine gezielte Holzernte einzelner Sortimente ist kaum möglich. Daher wird hier ein Sortiments-Durchschnittserlös herangezogen.

²² Nach den Daten des BMELV-Testbetriebsnetzes Forst (unveröffentlichte Auswertung im Institut OEF des vTI) betrug der Durchschnittserlös über alle Sortimente 2006/2007 etwa 50 €/m³; es sind allerdings Ernte- sowie Rindenverluste abzuziehen, die hier mit jeweils 10 % veranschlagt werden.

CO₂ mehr, als durch Kohlenstoffspeicherung zu erzielen ist. Zudem können die Holzerlöse jederzeit während der Verpflichtungsperiode realisiert werden – durchschnittlich also 2,5 Jahre früher als die Senkenerlöse.^{23 24} Geht man davon aus, dass einmal als Kohlenstoffspeicher anerkanntes Holz dauerhaft der Nutzung entzogen werden muss (da für den Bestand des Speichers auch in den folgenden Verpflichtungsperioden gehaftet wird), dann können die jeweiligen Erlöse einander direkt gegenübergestellt werden. Es zeigt sich dann, dass eine Holzernte zur stofflichen oder energetischen Nutzung für die meisten erntereifen Rohholzsortimente (mit Ausnahme der sehr geringwertigen, die weniger als 27 €/m³ erbringen) wirtschaftlicher ist als ein dauerhafter Nutzungsverzicht zugunsten einer zusätzlichen CO₂-Speicherung.²⁵

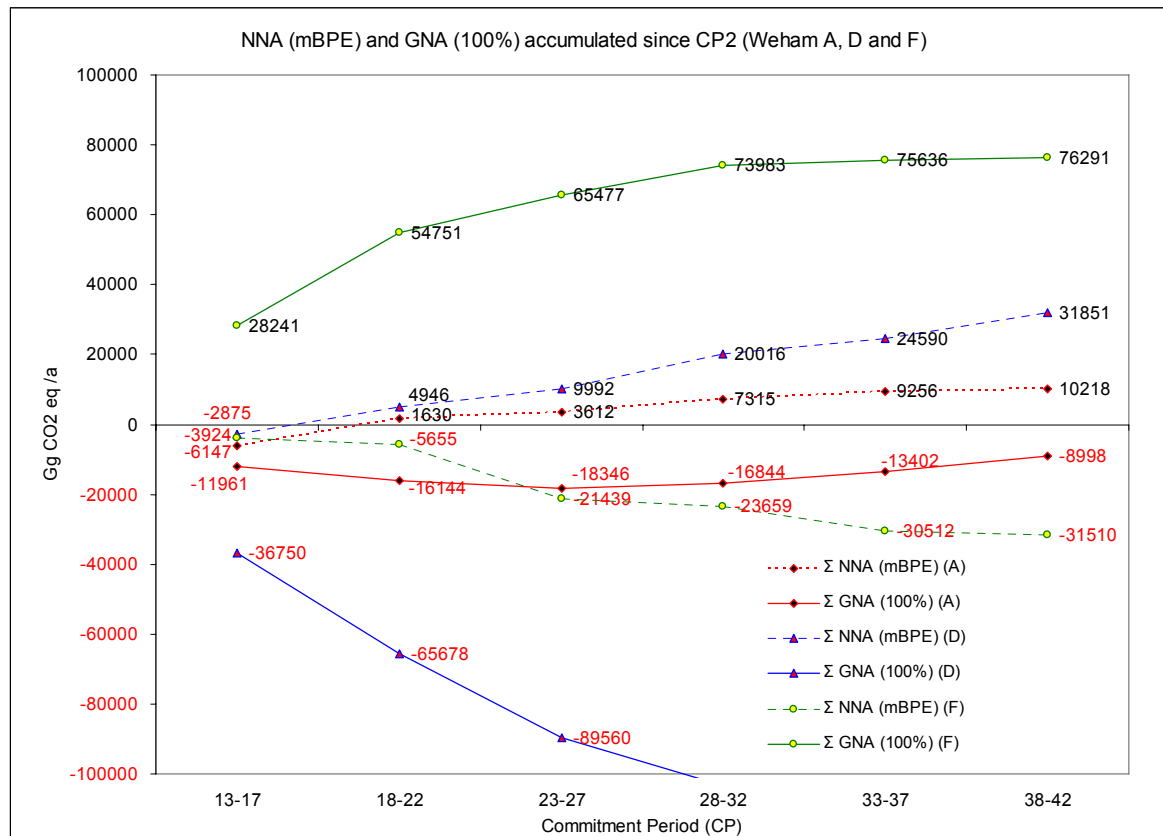
Für die Zeit nach 2012 sind derartige Abschätzungen noch nicht einmal näherungsweise möglich, weil die grundlegenden Anerkennungsregeln noch nicht abschließend vereinbart sind. In der Diskussion ist neben weiteren Fragen u.a., ob die bisherige Verfahrensweise („gross-net-accounting“ mit „cap“) in modifizierter Form beibehalten werden oder durch „net-net-accounting“ ersetzt werden soll, und auf welchen Zeitpunkt bzw. Zeitraum letzterenfalls die für die Berechnung notwendige Baseline zu beziehen sei („Accra-Optionen“; näheres s. KRUG et al. 2009 (eingereicht)). Bereits diese unterschiedlichen Möglichkeiten können fundamentale – und teilweise diametral entgegengesetzte – Auswirkungen auf die Anerkennung etwaiger Senkenleistungen haben (s. Abbildung 5).

²³ Der Einfachheit halber wird dieser Zinsvorteil hier nicht berücksichtigt (mangels Objektivierbarkeit des Zinssatzes). Zur Orientierung: Bei einer Verzinsung über 2,5 Jahre und einem Zinssatz von 5% beträgt der Zinsvorteil etwa 13 %, d.h. einem Speicher-Erlös von 27,46 €₂₀₁₂ entsprechen 24,31 €_{2009,5}.

²⁴ Es sei darauf hingewiesen, dass beide hier gegenübergestellte Bruttoerlöse nicht um Werbungskosten reduziert sind. Aus betrieblicher Sicht wären aus den Bruttoeinnahmen aus der Speicherleistung Kosten für deren Anerkennung und ggf. Kontrolle zu bedienen, aus den Bruttoeinnahmen aus Holzverkauf müssten Ernte- und Rückekosten beglichen werden. Aus überbetrieblicher Sicht generiert beides anderweitig (Arbeits-) Einkommen.

²⁵ Gegen eine (deutliche) Übererfüllung des Mengenziels sprechen aber nicht allein finanzielle Gründe, sondern auch Klimaerwägungen. Obwohl geerntetes Holz derzeit nicht als Senke verbucht werden kann, verbessert es über Material- und Energiesubstitution die Gesamtemissionsbilanz (dies ist auf sehr lange Frist sogar die einzige dauerhaft wirkende waldbasierte Maßnahme zur Senkung der Gesamtemissionen; vgl. FISCHLIN et al. 2004:56). Je mehr ungenutztes, aber erntereifes Holz im Wald verbleibt, desto geringer fällt folglich das Substitutionspotential aus.

Abbildung 5: Kumulierte Emissionen bzw. Senkenleistungen ab der 2. Verpflichtungsperiode für WEHAM-Szenarien A, D, und F nach gross-net-accounting (GNA) und net-net-accounting (NNA, hier unter Bezug auf die Emissions- bzw. Senkenentwicklung der jeweils vorausgehenden Periode)



positive Zahlen (schwarz): Emissionen; negative Zahlen (rot): Senkenleistungen
Quelle: KRUG et al. 2009 (eingereicht)

Abbildung 9 zeigt beispielhaft, dass die Anerkennungsregeln vollständig determinieren können, ob die Vorratsentwicklung des Waldes als Senke oder als Quelle verbucht wird: Vorratssteigerungen im Vergleich zu 1990, wie sie unter GNA zutreffend für die WEHAM-Szenarien A und D abgebildet werden, werden unter NNA unter den hier getroffenen Annahmen über den Bezugszeitraum als Emissionen verbucht; umgekehrt scheint der Vorratsabbau nach Szenario F unter GNA als Emission, unter NNA aber als Senkenleistung auf. Unter diesen Umständen ist es müßig, Optionen für eine Steigerung der Speicherleistung im Wald zu diskutieren. Zunächst müssen in den internationalen Verhandlungen konsistente Anerkennungsregeln entwickelt werden. Mögliche Maßnahmen zur Entlastung der Atmosphäre wären dann an diesen Anerkennungsregeln auszurichten und auf ihre Kosten hin zu bewerten.

5 Schlussfolgerungen für die Politik

Zusammenfassende Einschätzung zur Landwirtschaft

1. Die zu analysierenden Papiere sind in Hinblick auf die Einschätzung von Handlungsbedarf und Handlungsoptionen für den Klimaschutz im deutschen Agrarsektor von sehr begrenztem Nutzen. Die Kommissionspapiere zeigen auf, dass der Prüf- und Handlungsbedarf auch außerhalb des EU-ETS-Sektors ansteigen wird, und dass die Behandlung schwer dokumentierbarer Quellbereiche ein Problem darstellt.
2. Die anderen beiden Dokumente beziehen sich auf weltweite Einschätzungen und Analysen und sind nur sehr eingeschränkt auf Deutschland anwendbar. Hilfreich ist der Handlungskatalog für die Weiterentwicklung von Maßnahmen im Agrarsektor im UNFCCC-Papier.
3. Die Literaturanalyse ergab keine auf Deutschland anwendbaren, umfassenden Ergebnisse, vielmehr zeigte sich eine hohe Sensitivität von Methoden, Annahmen und Systemabgrenzungen für die Bewertungen von THG-Minderungsmaßnahmen im Agrarsektor.
4. Vor diesem Hintergrund wird vorgeschlagen, anhand der in der Studie des vTI vom Juni 2008 benannten Untersuchungsschwerpunkte die eigenen Anstrengungen zur Ermittlung von Minderungspotentialem und Kosten in einem konsistenten Untersuchungsrahmen voranzutreiben.
5. Die Anstrengungen zum Klimaschutz im Agrarbereich sollten sich an der ohnehin bestehenden, agrarumweltpolitischen Agenda in Deutschland orientieren (z. B. Optimierung Biogasanlagen, Moorschutz, Reduzierung von N-Überschuss und Ammoniakemissionen). Dem bestehenden Handlungsbedarf sollte in einer Weise entsprochen werden, dass zu verschiedenen Ziele beigetragen wird, darunter zum Klimaschutz.

Zusammenfassende Einschätzung zum Forstbereich

6. Mangels nennenswerter Emissionen entfällt für den Forstbereich in Deutschland grundsätzlich die Möglichkeit der Emissionsreduktion; gleichwohl sind im Forst- und Holzsektor Potentiale zur zusätzlichen Kohlenstoffsequestrierung gegeben.
7. Die im Erlass genannten Studien bieten kaum Anhaltspunkte zur Abschätzung von entsprechenden Potentialen und deren Kosten, weil sie den Forstbereich nicht thematisieren bzw. dort, wo sie dies tun, zu generell sind bzw. nicht übertragbar sind.

8. Für Deutschland sind Sequestrierungspotentiale durch Aufforstungen (Art. 3.3 KP) sowie durch Maßnahmen im bestehenden Wald gegeben („forest management“, Art. 3.4 KP).
9. Das durch Aufforstungen realisierbare zusätzliche Potential erscheint selbst dann sehr begrenzt, wenn hierfür Fördermittel von mehr als 33 €/t CO₂ aktiviert werden. Dies legen sowohl bisherige Erfahrungen mit der Aufforstungsförderung nahe, als auch die Tatsache, dass viele in Frage kommende Grundeigentümer konkurrierende Ziele verfolgen.
10. Im Bereich „forest management“ sind zeitlich begrenzt deutlich größere Speicherleistungen erzielbar. Soweit diese auf einem ohnehin stattfindenden Vorratsaufbau beruhen, sind sie definitionsgemäß kostenfrei; ein zusätzlicher Vorratsaufbau wirft allerdings Opportunitätskosten auf. Anreize zu einer weiteren Ausweitung dieses Speichers sollten nicht gesetzt werden, solange die entsprechenden Anerkennungsregeln in den Kyoto-Nachfolgeverhandlungen noch nicht feststehen: Je nach dem, welche der Optionen schließlich beschlossen wird, könnte eine tatsächliche Senkenleistung sowohl als Senke als auch als Quelle verbucht werden. Hier ist es zunächst notwendig, in den internationalen Verhandlungen auf konsistente Anerkennungsregeln zu drängen.

Literaturverzeichnis

- BMELV (2008): Bericht des Bundeslandwirtschaftsministeriums für einen aktiven Klimaschutz der Agrar- und Ernährungswirtschaft und zur Anpassung der Agrarwirtschaft an den Klimawandel (Entwurf). Agra-Europe (39/08), S. D1-D16
- BMVEL (Hrsg.) (2004): Die zweite Bundeswaldinventur - BWI²: Das Wichtigste in Kürze. Zu den Bundeswaldinventur-Erhebungen 2001 bis 2002 und 1986 bis 1988. Berlin: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 87 S.
- BMVEL (Hrsg.) (2005): Das potenzielle Rohholzaufkommen 2003 bis 2042: Das Wichtigste in Kürze. Zu den Bundeswaldinventur-Erhebungen 2001 bis 2002 und 1986 bis 1988. Berlin: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 75 S.
- BORMANN, K.; DIETER, M.; ENGLERT, H.; KÜPPERS, J.-G.; HOFFMANN-MÜLLER, R. (2007): Umweltökonomische Waldgesamtrechnungen. Wirtschaft und Statistik 2007 (2), S. 212-222
- DIETER, M.; ELSASSER, P. (2004): Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbschancen von Wald-Senkenprojekten in Deutschland. Hamburg: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. Arbeitsbericht 2004/11, 38 S.
- ELSASSER, P. (2008a): Neuwaldbildung durch Sukzession: Flächenpotentiale, Hindernisse, Realisierungschancen. Hamburg: von-Thünen-Institut. Arbeitsbericht OEF 2008/5, 26 S.
- ELSASSER, P. (2008b): Wirtschaftlicher Wert der Senkenleistung des Waldes unter KP-Artikel 3.4 und Ansätze zu dessen Abgeltung in der ersten Verpflichtungsperiode. Hamburg: von-Thünen-Institut. Arbeitsbericht OEF 2008/6, 52 S.
- FISCHLIN, A.; BUCHTER, B.; MATILE, L.; AMMON, K.; HEPPELLE, E.; LEIFELD, J.; FUHRER, J. (2004): Bestandsaufnahme zum Thema Senken in der Schweiz. Zürich: ETH Institut für terrestrische Ökologie (2. Aufl.). Systemökologie ETHZ: Bericht 29, 88 S.
- FREIBAUER, A.; DRÖSLER, M.; GENSIOR, A.; SCHULTE, E.-D. (2009): Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. Natur und Landschaft 84 (1), S. 20-25
- KLOSE, F.; ORF, S. (1998): Forstrecht. Kommentar zum Waldrecht des Bundes und der Länder. Münster: Aschendorff (2. Aufl.). 746 S.
- KRUG, J.; RIEDEL, T.; RÜTER, S.; ELSASSER, P.; BORMANN, K.; KÖHL, M. (2009 (eingereicht)): Accounting Carbon Sequestration in Forestry 1990-2042: Implications for Accra Accounting Options. Carbon Balance and Management

- MCKINSEY & COMPANY (Hrsg.) (2007): Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. Eine Studie von McKinsey & Company, Inc., erstellt im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“. Berlin: BDI, 68 S.
- MCKINSEY & COMPANY (Hrsg.) (2009a): Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland: Eine Studie von McKinsey & Company, Inc., erstellt im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“. Aktualisierte Energieszenarien und -sensitivitäten, März 2009. Berlin: BDI, 11 S.
- MCKINSEY & COMPANY (Hrsg.) (2009b): Pathways to a Low-Carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve. McKinsey & Company, 189 S.
- Osterburg B, Nieberg H, Rüter S, Isermeyer F (2008): Erfassung, Bewertung und Minderung von Treibhausgasemissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors. 126 S.
- PLOCHMANN, R.; THOROE, C.; ELSASSER, P.; GROTTKER, T.; OTTO, K.-E.; PLOCH, M.; SCHICHO, G.; WEBER, N. (1991): Förderung der Erstaufforstung. Nutzen-Kosten Untersuchung. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag. Schriftenreihe des BML Reihe A 397, 119 S.
- POLLEY, H.; KROIHER, F. (2006): Struktur und regionale Verteilung des Holzvorrates und des potenziellen Rohholzaufkommens in Deutschland im Rahmen der Clusterstudie Forst- und Holzwirtschaft. Eberswalde: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. Arbeitsbericht des Instituts für Waldökologie und Waldinventuren 2006/3, 124 S.
- Schneider U A, McCarl B A (2006): Appraising agricultural greenhouse gas mitigation potentials: effects of alternative assumptions. *Agricultural Economics* 35 (3): 277-287.
- Schneider U A, Obersteiner M, Schmid E, McCarl B (2008) Agricultural adaptation to climate policies under technical change. URL: http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/technicalprogress_climatepolicy_ASMGHG.pdf.
- SETZER, F. (2006): Verlangt die Europäische Union einen Paradigmenwechsel in der forstlichen Förderung? *Forst und Holz* 61 (2), S. 47-50
- SPRACKLEN, D.; YARON, G.; SINGH, T.; RIGHELATO, R.; SWEETMAN, T. (2008): The root of the Matter. Carbon Sequestration in Forests and Peatlands. London: Policy Exchange. 34 S.
- UBA (Hrsg.) (2006): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2006: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2004. Dessau: Umweltbundesamt. Climate Change 03/06, 563 S.

- UBA (Hrsg.) (2009): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2007. Dessau: Umweltbundesamt, 572 S.
- VOLZ, K.-R. (1991): Förderung der Erstaufforstung in den neuen Bundesländern - Situationsanalyse und Vorschläge. Bonn: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. 103 S.
- WAGENER, F. (2009): Wald – Flächennutzungsalternativen: Landschaft wieder mehr in Nutzung nehmen und Vielfalt durch Landbau steigern. In: SEINTSCH, B.; DIETER, M. (Hrsg.): Waldstrategie 2020. Tagungsband zum Symposium des BMELV, 10.-11. Dez. 2008, Berlin. Braunschweig: vTI. Landbauforschung Sonderheft 327, S. 111-122
- WEBER, N.; SUDA, M. (1992): Erstaufforstung: Ja oder Nein? Untersuchung über die Bereitschaft zur Erstaufforstung in den neuen Bundesländern. Der Wald (Berlin) 42 (1), S. 24-27
- Weersink A, Pannell D, Fulton M, Meyer-Aurich A (2005): Agriculture's likely role in meeting Canada's Kyoto commitments. Canadian Journal of Agricultural Economics-*Revue Canadienne D Agroéconomie* 53 (4): 425-441.
- Weiske A, Michel J (2007): Greenhouse gas emissions and mitigation costs of selected mitigation measures in agricultural production. URL: http://www.ieep.eu/publications/pdfs/meacap/WP3_D15_ghg_mitigation%20costs.pdf.

Anhang: Liste der analysierten Literatur zu THG-Minderungen im Agrarsektor

- Antle J, Capalbo S, Mooney S, Elliott E T, Paustian K H (2002) Sensitivity of carbon sequestration costs to soil carbon rates. *Environmental Pollution* 116 (3): 413-422.
- Bates J (2001) Economic Evaluation of Emission Reductions of Nitrous Oxides and Methane in Agriculture in the EU. URL: <http://www.earthscape.org/p1/ece026/ece026.pdf>. 99 S.
- Beach R H, DeAngelo B J, Rose S, Li C, Salas W, DelGrosso S J (2008) Mitigation potential and costs for global agricultural greenhouse gas emissions. *Agricultural Economics* 38 (2): 109-115.
- Breen J (2008a) Controlling Greenhouse Gas Emissions by means of Tradable Emissions Permits and the Implications for Irish Farmers. European Association of Agricultural Economists 107th Seminar. Sevilla, Spain, 30.1.2008a: 14.
- Breen J (2008b) Simulating a Market for Tradable Greenhouse Gas Emissions Permits amongst Irish Farmers. *Agricultural Economics Society 82nd Annual Conference*. Royal Agricultural College, Cirencester, UK, 31.3.2008b: 21.
- Brink C, Ierland E v, Hordijk L, Kroeze C (2002) Cost-effective emission abatement in Europe considering interrelations in agriculture. *Optimizing Nitrogen Management in Food and Energy Production and Environmental Protection*. 2nd International Nitrogen Conference, Potomac, Maryland, USA, 14-18 October 2001: 814-821.
- Brink C, van Ierland E, Hordijk L, Kroeze C (2005) Cost-effective emission abatement in agriculture in the presence of interrelations: cases for the Netherlands and Europe. *Ecological Economics* 53 (1): 59-74.
- Burniaux J-M, Chateau J (2008) An Overview of the OECD ENV-Linkages Model. URL: <http://www.masetto.sourceoecd.org/v1=5901572/cl=19/nw=1/rpsv/cgi-bin/wppdf?file=5kz7wabr719n.pdf>. Stand: 20.4.2009. 30 S.
- Clemens J, Ahlgrimm H J (2001) Greenhouse gases from animal husbandry: mitigation options. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60 (1-3): 287-300.
- Clemens J, Trimborn M, Weiland P, Amon B (2006) Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT* 112 (2-3): 171-177.
- Cole C V, Duxbury J, Freney J, Heinemeyer O, Minami K, Mosier A, Paustian K, Rosenberg N, Sampson N, Sauerbeck D, Zhao Q (1997) Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49 (1-3): 221-228.

- Creyts J, Derkach A, Nyquist S, Ostrowski K, Stepniewski W (2007) Reducing U.S. Greenhouse Gas Emissions: How Much at What Cost. URL: www.mckinsey.com/client-service/ccsi/pdf/US_ghg_final_report.pdf. Stand: 20.4.2009. 107 S.
- De Cara S, Houzé M, Jayet P A (2001) Agriculture and Climate Change in the European Union: Greenhouse Gas Emissions and Abatement Costs. American Agricultural Economics Association 2001 Annual meeting. Chicago IL, 4.8.2001.
- De Cara S, Houzé M, Jayet P A (2004) Greenhouse gas emissions from agriculture in the EU: A spatial assessment of sources and abatement costs. URL: <http://www.grignon.inra.fr/economie-publique/publi/ghg.pdf>. 31 S.
- Deybe D, Falot A (2003) Non-CO₂ greenhouse gas emissions from agriculture: analysing the room for manoeuvre for mitigation, in case of carbon pricing. International Association of Agricultural Economists. Durban, South Africa, 16.8.2003: 8.
- Freibauer A, Rounsevell M D A, Smith P, Verhagen J (2004) Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122 (1): 1-23.
- Glendining M J, Dailey A G, Williams A G, Evert F K, Goulding K W T, Whitmore A P (2009) Is it possible to increase the sustainability of arable and ruminant agriculture by reducing inputs? *Agricultural Systems* 99 (2-3): 117-125.
- Haas G, Wetterich F, Köpke U (2001) Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83 (1-2): 43-53.
- Hartmann M, Hediger W, Lehmann B, Peter S (2005) The contribution of agriculture to Swiss climate policy: results of an economic analysis. *Agrarwirtschaft Und Agrarsoziologie* (1): 41-56.
- Hediger W (2004) Bestimmungsgründe und Entwicklung der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen und Kohlenstoff-Senken in der Schweiz. URL: http://www.afee.ethz.ch/research/Optimal/Wprojekte/P2/Publikationen/research/Optimal/Wprojekte/P2/Publikationen/CO2_ch2_nov2004.pdf. Stand: 24.4.2009. 88 S.
- Hediger W, Hartmann M, Peter S, Lehmann B (2004) Ökonomische Beurteilung und Monetarisierung der landwirtschaftlichen Leistungen im Klimaschutz. URL: http://www.afee.ethz.ch/research/Optimal/Wprojekte/P2/Publikationen/research/Optimal/Wprojekte/P2/Publikationen/Bericht_gesamt_Dez04.pdf. Stand: 20.4.2009. 139 S.
- Jensen J, O'Toole R, Matthews A (2003) Controlling Greenhouse Gas Emissions from the Agricultural Sector in Ireland: A CGE Modeling approach. 6th Annual Conference on Global Economic Analysis. The Hague, 14.6.2003: 17.
- Johnson J M F, Franzluebbbers A J, Weyers S L, Reicosky D C (2007) Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution* 150 (1): 107-124.

- Karousakis K, Chateau J (2009) Differentiating climate change mitigation commitments, action and support in the major GHG-emitting economies. 25 S.
- King J A, Bradley R I, Harrison R, Carter A D (2004) Carbon sequestration and saving potential associated with changes to the management of agricultural soils in England. *Soil Use and Management* 20 (4): 394-402.
- Kulshreshtha S N, Junkins B, Desjardins R (2000) Prioritizing greenhouse gas emission mitigation measures for agriculture. *Agricultural Systems* 66 (3): 145-166.
- Lubowski R N, Plantinga A J, Stavins R N (2006) Land-use change and carbon sinks: Econometric estimation of the carbon sequestration supply function. *Journal of Environmental Economics and Management* 51 (2): 135-152.
- Manley J, Van Kooten G C, Moeltner K, Johnson D W (2005) Creating carbon offsets in agriculture through no-till cultivation: A meta-analysis of costs and carbon benefits. *Climatic Change* 68 (1-2): 41-65.
- Metcalf T, Kingwell R (2009) Low Emission Farming Systems: A whole-farm analysis of the potential impacts of greenhouse policy. Australian Agricultural and Resource Economics Society 53rd Conference. Cairns, Australia, 11.2.2009.
- Meyer-Aurich A, Weersink A, Janovicek K, Deen B (2006) Cost efficient rotation and tillage options to sequester carbon and mitigate GHG emissions from agriculture in Eastern Canada. *AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT* 117 (2-3): 119-127.
- Meyer-Aurich A, Weersink A, Jayasundara S, Wagner-Riddle C (2004) Effectiveness of Best Management Cropping Systems to Abate Greenhouse Gas Emissions. *Current Agriculture, Food and Resource Issues* (5): 212-220.
- Monteny G J, Bannink A, Chadwick D (2006) Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT* 112 (2-3): 163-170.
- Moran D, MacLeod M, Wall E, Eory V, McVittie A, Barnes A, Rees B, Smith P, Moxey A (2009) Marginal abatement cost curves for UK agriculture, forestry, land-use and land-use change sector out to 2022. Agricultural Economist Society 83rd Annual Conference. Dublin, 31.3.2009: 27.
- Moran D, MacLeod M, Wall E, Eory V, Pajot G, Matthews R, McVittie A, Barnes A, Rees B, Moxey A, Williams A, Smith P (2008) UK Marginal Abatement Cost Curves for the Agriculture and Land Use, Land-Use Change and Forestry Sectors out to 2022, with Qualitative Analysis of Options to 2050. URL: <http://www.theccc.org.uk/pdfs/SAC-CCC;%20UK%20MACC%20for%20ALULUCF;%20Final%20Report%202008-11.pdf>. Stand: 20.4.2009. 168 S.
- Neufeldt H, Schäfer M (2008) Mitigation strategies for greenhouse gas emissions from agriculture using a regional economic-ecosystem model. *AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT* 123 (4): 305-316.

- Neufeldt H, Schäfer M, Angenendt E, Li C S, Kaltschmitt M, Zeddies J (2006) Disaggregated greenhouse gas emission inventories from agriculture via a coupled economic-ecosystem model. *AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT* 112 (2-3): 233-240.
- O'Hara P, Freney J, Ulyatt M. (2003) Abatement of Agricultural Non-Carbon Dioxide Greenhouse Gas Emissions. URL: <http://www.maf.govt.nz/mafnet/rural-nz/sustainable-resource-use/climate/abatement-of-agricultural-greenhouse-gas-emissions/httoc.htm>. Stand: 20.4.2009. 177 S.
- Oenema O, Velthof G, Kuikman P (2001) Technical and policy aspects of strategies to decrease greenhouse gas emissions from agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60 (1-3): 301-315.
- Olesen J E, Schelde K, Weiske A, Weisbjerg M R, Asman W A H, Djurhuus J (2006) Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. *AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT* 112 (2-3): 207-220.
- Osterburg B, Nieberg H, Rüter S, Isermeyer F (2009) Erfassung, Bewertung und Minderung von Treibhausgasemissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors. 126 S.
- Povellato A, Bosello F, Giupponi C (2007) Cost-effectiveness of greenhouse gases mitigation measures in the European agro-forestry sector: a literature survey. *Environmental Science & Policy* 10 (5): 474-490.
- Russ P, Ciscar J-C, Saveyn B, Sorai A, Szábó L, Van Ierland T, Van Regemorter D, Virdis R, JRC (2009) Economic Assessment of Post-2012 Global Climate Policies. Stand: 20.4.2009. 70 S.
- Schils R L M, Olesen J E, del Prado A, Soussana J F (2007) A review of farm level modelling approaches for mitigating greenhouse gas emissions from ruminant livestock systems. *Livestock Science* 112 (3): 240-251.
- Schneider U A, McCarl B A (2006) Appraising agricultural greenhouse gas mitigation potentials: effects of alternative assumptions. *Agricultural Economics* 35 (3): 277-287.
- Schneider U A, Obersteiner M, Schmid E, McCarl B (2008) Agricultural adaptation to climate policies under technical change. URL: http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/technicalprogress_climatepolicy_ASMGHG.pdf. 35 S.
- Smith E G, Upadhyay B M (2005) Greenhouse Gas Mitigation on Diversified Farms. Canadian Agricultural Economics Society Annual Meeting. San Francisco, CA, 6.7.2005: 16.
- Smith P (2004) Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *European Journal of Agronomy* 20 (3): 229-236.

- Smith P, Martino D, Cai Z, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O, Howden M, McAllister T, Pan G, Romanenkov V, Schneider U, Towprayoon S, Wattenbach M, Smith J (2008) Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363 (1492): 789-813.
- Smith P, Martino D, Cai Z C, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O, Howden M, McAllister T, Pan G X, Romanenkov V, Schneider U, Towprayoon S (2007) Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT* 118 (1-4): 6-28.
- UNFCCC (2008) Challenges and opportunities for mitigation in the agricultural sector. URL:
http://unfcccballi.org/unfccc/images/document/mitigation_agricultural.pdf. 101 S.
- USEPA (2006) Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases. URL:
<http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/international.html>. Stand: 20.4.2009. 438 S.
- Vleeshouwers L M, Verhagen A (2002) Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology* 8 (6): 519-530.
- Weersink A, Pannell D, Fulton M, Meyer-Aurich A (2005) Agriculture's likely role in meeting Canada's Kyoto commitments. *Canadian Journal of Agricultural Economics-Revue Canadienne D Agroeconomie* 53 (4): 425-441.
- Weiske A (7 A.D.) Greenhouse gas emissions and mitigation costs of selected mitigation measures in agricultural production. URL:
http://www.ieep.eu/publications/pdfs/meacap/WP3_D15_ghg_mitigation%20costs.pdf. Stand: 20.4.9 A.D. 90 S.
- Wetterich, F. und Haas, G. (1999): *Ökobilanz Allgäuer Grünlandbetriebe*. Berlin.
- Williams J R, Chadwick D R, Scholefield D, Chambers B J, Moorby J M (2007) A Review of Research to Identify Best Practice for Reducing Greenhouse Gases from Agriculture and Land Management. URL:
http://www.sciencesearch.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=AC0206_6675_FRA.pdf. Stand: 24.4.2009. 74 S.
- Zimmer Y, Berenz S, Döhler H, Isermeyer F, Leible L, Schmitz N, Schweinle J, Toews T, Tuch U, Vetter A, de Witte T (2008) Klima- und energiepolitische Analyse ausgewählter Bioenergie-Linien. URL:
http://www.vti.bund.de/fallitdok_extern/bitv/dk040044.pdf. 132 S.

Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie

- Nr. 01/2008 Margarian A:
Sind die Pachten im Osten zu niedrig oder im Westen zu hoch?
- Nr. 02/2008 Lassen B, Friedrich C, Prübe H:
Statistische Analysen zur Milchproduktion in Deutschland – Geografische Darstellung (Stand: Januar 2008)
- Nr. 03/2008 Nitsch H, Osterburg B, von Buttlar Ch, von Buttlar HB:
Aspekte des Gewässerschutzes und der Gewässernutzung beim Anbau von Energiepflanzen
- Nr. 04/2008 Haxsen G:
Calculating Costs of Pig Production with the InterPIG Network
- Nr. 05/2008 Efken J:
Online-Befragung von Erhalterinnen seltener Nutztiere oder Nutzpflanzen zu Ihren Aktivitäten und Einstellungen
- Nr. 06/2008 Rudow K, Pitsch M:
Fallstudie zur Wirkung der Ausgleichszulage im Landkreis Oberallgäu (Bayern)
- Nr. 07/2008 Daub R:
Fallstudie zur Wirkung der Ausgleichszulage im Landkreis Vogelsberg (Hessen)
- Nr. 08/2008 Haxsen G:
Interregionale und internationale Verflechtung der Ferkelversorgung in Deutschland – Berechnung regionaler Versorgungsbilanzen und Kalkulationen der Produktionskosten für Ferkel im interregionalen sowie internationalen Vergleich
- Nr. 09/2008 Lassen B, Isermeyer F, Friedrich C:
Milchproduktion im Übergang – eine Analyse von regionalen Potenzialen und Gestaltungsspielräumen
- Nr. 10/2008 Gasmi S:
Fallstudie zur Wirkung der Ausgleichszulage im Landkreis St. Wendel (Saarland)

- Nr. 11/2008 Pohl C:
Fallstudie zur Wirkung der Ausgleichszulage im Altmarkkreis Salzwedel (Sachsen-Anhalt)
- Nr. 12/2008 Gömann H, Heiden M, Kleinhanß W, Kreins P, von Ledebur EO, Offermann F, Osterburg B, Salamon P:
Health Check der EU-Agrarpolitik – Auswirkungen der Legislativvorschläge
- Nr. 13/2008 von Ledebur EO, Ehrmann M, Offermann F, Kleinhanß W:
Analyse von Handlungsoptionen in der EU-Getreidemarktpolitik
- Nr. 14/2008 Ehrmann M, Kleinhanß W:
Review of concepts for the evaluation of sustainable agriculture in Germany and comparison of measurement schemes for farm sustainability.
- Nr. 1/2009 Gömann H, Kleinhanß W, Kreins P, von Ledebur EO, Offermann F, Osterburg B, Salamon P:
Health Check der EU-Agrarpolitik – Auswirkungen der Beschlüsse
- Nr. 2/2009 Schmitz J, von Ledebur, EO:
Maispreisverhalten – Maispreistransmission während des Preisbooms an den Terminmärkten
- Nr. 3/2009 Bernhard Osterburg,, Hiltrud Nieberg, Sebastian Rüter, Folkhard Isermeyer, Hans-Dieter Haenel, Jochen Hahne, Jan-Gerd Krentler, Hans Marten Paulsen, Frank Schuchardt, Jörg Schweinle, Peter Weiland
Erfassung, Bewertung und Minderung von Treibhausgasemissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors
- Nr. 4/2009 Bernhard Osterburg, Norbert Röder, Peter Elsasser, Matthias Dieter Joachim Krug
Analyse ausgewählter internationaler Studien und Dokumente über Kosten und Potentiale der Minderung von Treibhausgasemissionen sowie des Aufbaus und der Erhaltung von C-Senken im deutschen Agrar- und Forstsektor