

Zeitschrift: Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie = Économie et sociologie rurales [1980-2007]
Herausgeber: Schweizerische Gesellschaft für Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie
Band: - (2005)
Heft: 1

Artikel: Der Beitrag der Landwirtschaft zur schweizerischen Klimapolitik : Ergebnisse einer ökonomischen Analyse
Autor: Hartmann, Michael / Hediger, Werner / Lehmann, Bernard / Peter, Simon
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-966527>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.06.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der Beitrag der Landwirtschaft zur schweizerischen Klimapolitik - Ergebnisse einer ökonomischen Analyse

Michael Hartmann, Werner Hediger, Bernard Lehmann, Simon Peter, IAW, ETH-Zürich

Zusammenfassung

Die Landwirtschaft in der Schweiz hat seit 1990 gut 8 % ihrer Treibhausgas-Emissionen reduziert und somit einen Beitrag von ca. 13 % zur Erreichung der Kyoto-Verpflichtung der Schweiz geleistet. Mit Hilfe eines integrierten Allokationsmodells wurde untersucht, welchen Beitrag die Landwirtschaft bis zum Jahr 2010 bei Fortführung der gegenwärtigen Agrarpolitik und mit gezielten Anreizen zur Klimapolitik zusätzlich leisten kann. Dabei zeigt es sich, dass die Landwirtschaft kurzfristig im Bereich der Kohlenstoff-Sequestrierung in landwirtschaftlichen Böden zu weiteren Treibhausgas-Reduktionen beitragen kann. Dieser Anteil ist allerdings, verglichen mit den gesamten Reduktionsverpflichtungen der Schweiz nach Kyoto-Protokoll, als eher gering einzustufen, bei vergleichsweise hohen zu erwartenden Monitoring-Kosten. Das legt aus volkswirtschaftlicher Sicht den Schluss nahe, auf weiterführende Massnahmen durch die Landwirtschaft zu verzichten.

Schlüsselwörter: Klimapolitik, Landwirtschaft, Treibhausgasemissionen, Kohlenstoff-Sequestrierung, volkswirtschaftliche Analyse

1. Einleitung

Die Reduktion oder zumindest die Begrenzung der durch den Menschen verursachten Treibhausgase (THG) zum Schutz der Erdatmosphäre gehört heute zu den vorrangigen Zielen der globalen Umweltpolitik. Konkrete Schritte wurden 1992 auf dem „Erdgipfel“ in Rio de Janeiro sowie 1997 mit dem Kyoto-Protokoll, welches im Februar 2005 nach der Ratifizierung durch die Russische Föderation in Kraft getreten ist, in die Wege geleitet. In Letzterem wurden erstmals länderspezifische Reduktionsziele für die anthropogenen Emissionen der sechs Treibhausgase Kohlendioxid, Methan, Lachgas, teilhalogenierte Fluorkohlenwasser-

stoffe, perfluorierte Kohlenwasserstoffe und Schwefel-hexafluorid bis zum Verpflichtungszeitraum 2008-2012 festgelegt. Die Schweiz hat das Protokoll 2003 ratifiziert und sich damit verpflichtet, die Emissionen dieser sechs Gase im Mittel um 8 % unter den Stand von 1990 zu reduzieren.

Die wichtigste Stütze auf nationaler Ebene für die Realisierung dieses Zieles stellt das CO₂-Gesetz dar. Es regelt mit seinen klaren Zielen und Rahmenbedingungen die Umsetzung der Reduktionen der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger. Für die übrigen Gase sind hingegen keine nationalen Reduktionsziele vorgesehen. Somit existiert für die Landwirtschaft auch keine explizite Verpflichtung zur Reduktion ihrer Methan- und Lachgas-Emissionen. Allerdings wäre aus volkswirtschaftlicher Sicht und im Sinne eines effizienten Einsatzes von knappen Ressourcen eine angemessene Beteiligung der Landwirtschaft im Hinblick auf das Erreichen des Kyoto-Zieles angebracht. Dazu gehört auch die allfällige Berücksichtigung von Massnahmen der Kohlenstoff-Sequestrierung (C-Sequestrierung) in landwirtschaftlich genutzten Böden.

Für die Beurteilung dieser Möglichkeiten in der Schweizer Landwirtschaft lagen bisher nur naturwissenschaftliche Studien vor (MINONZIO ET AL. 1998; SCHMID ET AL. 2000; LEIFELD ET AL. 2003). Es liegen aber noch keine ökonomischen Analysen über die Potenziale, Kosten und wirtschaftlichen Auswirkungen einer landwirtschaftlichen THG-Reduktion bzw. der C-Sequestrierung vor, wie sie beispielsweise in den USA gemacht wurden (ANTLE ET AL. 2001, 2003; PAUTSCH ET AL. 2001; MCCARL AND SCHNEIDER 2000, 2001; SCHNEIDER AND MCCARL 2003). Aus diesem Grund wurden, im Rahmen eines am Institut für Agrarwirtschaft der ETH Zürich im Auftrag des Schweizerischen Bauernverbandes und mit finanzieller Beteiligung des Bundesamtes für Landwirtschaft durchgeführten Forschungsprojektes, die unterschiedlichen Möglichkeiten der landwirtschaftlichen THG-Reduktion aus ökonomischer Sicht untersucht (HEDIGER ET AL. 2004). Die Zielsetzung des Projektes bestand darin, eine wirtschaftswissenschaftlich fundierte Grundlage für die klimapolitische Diskussion bereitzustellen und den Wert der landwirtschaftlichen THG-Reduktion monetär zu bewerten.

Zu deren Beantwortung wurde auf die bestehenden naturwissenschaftlichen Studien über die Bestimmungsgründe der Methan- und Lachgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft (MINONZIO ET AL. 1998; SCHMID ET AL. 2000) und die Studie von LEIFELD ET AL. (2003) über die Kohlenstoff-Senken und das Sequestrierungspotenzial in landwirt-

schaftlichen Böden in der Schweiz sowie weitere Literatur-grundlagen abgestützt (HEDIGER 2004). Zudem wurden, unter Berücksichtigung der bestehenden ökonomischen Literatur zur Kohlenstoff-Sequestrierung in landwirtschaftlichen Böden (ANTLE AND MCCARL 2002; ANTLE ET AL. 2001, 2003; PAUTSCH ET AL. 2001), die für die vorliegende Analyse erforderlichen, theoretischen Grundlagen aufbereitet, und es wurde ein integrierter Modellansatz (*S_INTAGRAL* = Swiss INTegrated AGRicultural ALlocation Model) für die ökonomische Analyse und den Vergleich der verschiedenen Optionen der THG-Reduktion in der Schweizer Landwirtschaft entwickelt (HEDIGER ET AL. 2004). Auf diesen Grundlagen haben wir so die Möglichkeit der C-Sequestrierung in landwirtschaftlichen Böden der Schweiz evaluiert und die Grenzkosten der THG-Reduktion für die Schweizer Landwirtschaft berechnet. Diese Berechnungen stellen neben den Erkenntnissen aus den theoretischen Betrachtungen die Basis für die Herleitung ökonomisch fundierter Empfehlungen dar, welche wir im vorliegenden Artikel in zusammengefasster Form wiedergeben.

2. Landwirtschaftliche Treibhausgas-Emissionen und Kohlenstoff-Senken

Die anthropogenen Treibhausgas-Emissionen der Schweiz werden seit 1990 im Treibhausgas-Inventar des Bundes erfasst und auf der Homepage des BUWAL¹ publiziert. Basierend auf internationalen Richtlinien (IPCC 1997; UNFCCC 2000) liefert das THG-Inventar detaillierte Informationen über Stand und Veränderung der jährlichen THG-Emissionen sowie über die Veränderung der Kohlenstoffsinken in der Schweiz. So wird unter anderem deutlich, dass der Anteil der schweizerischen Landwirtschaft an den gesamten THG-Emissionen in der Schweiz lediglich bei knapp 12 % liegt, die Landwirtschaft aber Hauptemittentin von Methan (63 %) und Lachgas (72 %) ist, bei den CO₂-Emissionen (1,5 %) jedoch nur eine unbedeutende Rolle spielt.

Wie in Tabelle 1 veranschaulicht, sind die Emissionen von Methan und Lachgas zwischen 1990 und 2000 beträchtlich zurückgegangen, so dass trotz leichtem Anstieg beim CO₂ insgesamt eine Abnahme der landwirtschaftlichen THG-Emissionen um 0,55 Mt CO₂-Äquivalente pro

¹ <http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de>

Jahr (Mt CO₂eq/Jahr) resultierte. Dies entspricht etwa 8 % der landwirtschaftlichen THG-Emissionen von 1990 und gut 13 % der im Kyoto-Protokoll eingegangenen Reduktionsverpflichtung der Schweiz von 4,27 Mt CO₂eq/Jahr. Dieser volkswirtschaftlich wertvolle Beitrag der Landwirtschaft zum Erreichen des Kyoto-Zieles ist nicht auf klimapolitische Anreize, sondern auf agrarpolitische Massnahmen und wirtschaftliche Veränderungen zurückzuführen.

Tabelle 1: Treibhausgas-Emissionen der Schweizer Landwirtschaft (1990-2000)

	Treibhausgas-Emissionen der Landwirtschaft									
	CO ₂	Methan (CH ₄)				Lachgas (N ₂ O)				Emissionen Total
	Land- / Forstwirtschaft	Nutztierhaltung		Total CH ₄		Hofdünger-Bewirtschaftung	Landwirtschaftliche Böden	Total N ₂ O		
		Verdauung	Hofdünger-Bewirtschaftung							
	(Mt)	(kt)	(kt)	(kt)	(Mt Co ₂ eq)	(kt)	(kt)	(kt)	(Mt Co ₂ eq)	(Mt Co ₂ eq)
1990	0.65	130.20	20.79	151.0	3.17	1.48	7.76	9.24	2.86	6.69
1991	0.66	131.68	20.84	152.5	3.20	1.46	7.70	9.16	2.84	6.70
1992	0.66	130.67	20.61	151.3	3.18	1.44	7.62	9.06	2.81	6.65
1993	0.66	129.85	20.44	150.3	3.16	1.43	7.56	8.99	2.79	6.60
1994	0.67	127.34	20.01	147.4	3.09	1.41	7.47	8.88	2.75	6.52
1995	0.67	127.66	19.75	147.4	3.10	1.39	7.35	8.74	2.71	6.48
1996	0.67	126.00	19.35	145.4	3.05	1.38	7.27	8.65	2.68	6.40
1997	0.68	124.08	19.52	143.6	3.02	1.38	7.14	8.52	2.64	6.34
1998	0.68	120.34	19.12	139.5	2.93	1.37	7.05	8.42	2.61	6.22
1999	0.68	118.48	18.95	137.4	2.89	1.36	6.96	8.32	2.58	6.15
2000	0.68	118.01	19.00	137.0	2.88	1.36	6.96	8.32	2.58	6.14

Quelle: HEDIGER ET AL. (2004), basierend auf dem „Treibhausgasinventar der Schweiz“, BUWAL (Stand Mai 2002).

Hauptquellen landwirtschaftlicher THG-Emissionen sind die Tierhaltung (insbesondere Methan aus der Verdauung bei Wiederkäuern), die Hof-

düngerbewirtschaftung und die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Böden. Der Rückgang der Methan- und Lachgas-Emissionen zwischen 1990 und 2000 ist denn auch hauptsächlich auf reduzierte Tierbestände, geringeren Hofdüngereinsatz sowie die Ökologisierung der Landwirtschaft zurückzuführen. Dies hat, wie bereits erwähnt, von 1990 bis 2000 zu einem Rückgang landwirtschaftlicher THG-Emissionen um zirka 8 % geführt. Eine weitere Abnahme in der Grössenordnung von 3 bis 10 % ist bei Fortführung der aktuellen Agrarpolitik bis 2010 zu erwarten, wie der BUNDESRAT (2002) in der Botschaft zum Kyoto-Protokoll betont bzw. aus unseren Modellrechnungen hervorgeht (HEDIGER ET AL. 2004).

Darüber hinaus kann CO₂ in Wäldern und landwirtschaftlichen Böden gespeichert werden. Diese Speicherung von Kohlenstoff wird im Kyoto-Protokoll grundsätzlich als Emissionsreduktion anerkannt. Für die Anrechnung muss ein Land allerdings angeben, welche Flächen und welche Sequestrierungs-Aktivitäten es durchführen will und darüber jährliche Kohlenstoffbilanzen erstellen. Der grösste Teil des in Agrarökosystemen gespeicherten Kohlenstoffs ist in Böden und nicht, wie in Waldökosystemen, in der pflanzlichen Biomasse gespeichert (PAULSEN 1995; FISCHLIN ET AL. 2003). So sind knapp 40 % des organischen Kohlenstoffs der Schweiz in landwirtschaftlich genutzten Böden gebunden.

Landwirtschaftliche Sequestrierungsmöglichkeiten ergeben sich aus Aktivitäten im Ackerbau (Direktsaat, Erhöhung Kunstwiesenanteil in der Fruchtfolge), in der Grünlandbewirtschaftung (Umwandlung Acker- zu Dauergrünland, Extensivierung) und der Bewirtschaftung organischer Böden (Renaturierung, Extensivierung), wobei der grösste Teil zurzeit nicht angewandt wird. Diese Massnahmen führen neben Gewinnen in der Kohlenstoffspeicherung auch zu gegenteiligen Effekten durch erhöhte Emissionen von Lachgas und Methan in Folge von Landnutzungs- und Bewirtschaftungsänderungen. Daraus resultiert die auch von LEIFELD ET AL. (2003) und MCCARL AND SCHNEIDER (2001) betonte Notwendigkeit einer umfassenden und integrierten Betrachtung der C-Sequestrierung und der gesamten landwirtschaftlichen THG-Emissionen, der mit dem von uns gewählten Modellansatz Rechnung getragen wurde.

Aus der Studie von LEIFELD ET AL. (2003) wird ersichtlich, dass das grösste Sequestrierungspotenzial für die Schweiz in der Renaturierung von organischen Böden besteht, auch wenn diese mit einer geschätzten Fläche von 17 000 ha lediglich einen bescheidenen Anteil der gesamtschweizerischen Landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) von knapp 1,1 Mio. ha ausmachen. Auf eine ökonomische Analyse dieser Option der

C-Sequestrierung musste aber im Rahmen dieser Arbeit angesichts der ungenügenden Datenlage verzichtet werden. Sie würde vermutlich vorwiegend den Gemüsebau betreffen, für den mit bedeutend höheren Opportunitätskosten je Hektare zu rechnen wäre als im Bereich des Ackerbaus.

Auf mineralischen Böden besteht gemäss LEIFELD ET AL. zudem die Möglichkeit der C-Sequestrierung durch pfluglose Bodenbearbeitung im Direktsaatverfahren sowie durch Umwandlung von Ackerflächen in Dauergrünland, wobei die zweite dieser sich gegenseitig ausschliessenden Optionen die höhere Sequestrierungsrate und insgesamt auch das grössere Senkenpotenzial aufweist. Daraus kann aber nicht gefolgert werden, dass eine Umwandlung von Acker- in Grasland vorzuziehen wäre. Auch hier spielen wirtschaftliche Aspekte (relative Kosten) eine entscheidende Rolle. Zudem gilt es bei einer Ausdehnung der Graslandfläche zu berücksichtigen, dass dadurch zusätzliche THG-Emissionen als Folge der Verfütterung des zusätzlich anfallenden Grasses an Wiederkäuer und des zusätzlichen Hofdüngeranfalls entstehen können (vgl. LEHMANN AND HEDIGER 2004).

Demgegenüber ist bei der C-Sequestrierung durch pfluglose Bodenbearbeitung weniger mit induzierten THG-Emissionen, sondern mit einer Verminderung der energiebedingten CO₂-Emissionen aus dem Ackerbau zu rechnen. Es gilt in diesem Fall der C-Sequestrierung jedoch ganz besonders zu berücksichtigen, dass mit der Einlagerung von Kohlenstoff im Boden zugleich eine potentielle Quelle entsteht. Dementsprechend müsste die Möglichkeit einer langfristigen Kohlenstofffixierung im Boden im Rahmen einer dynamischen ökologisch-ökonomischen Analyse untersucht werden. Hierfür fehlen zurzeit jedoch die erforderlichen naturwissenschaftlichen Grundlagen, welche sowohl über den zeitlichen Verlauf als auch über räumliche Unterschiede Aufschluss geben würden. Als Folge dieser ungenügenden Datenlage, können die Möglichkeiten der C-Sequestrierung in landwirtschaftlichen Böden der Schweiz lediglich auf aggregierter, das heisst auf gesamtschweizerischer Ebene ökonomisch beurteilt werden.

Das theoretische landwirtschaftliche Senkenpotenzial beträgt gemäss LEIFELD ET AL. (2003) zirka 1,13 ($\pm$ 0,35) Mt CO₂eq pro Jahr, was rund 27 % der schweizerischen Reduktionsverpflichtung im Rahmen des Kyoto-Protokolls entspricht. Unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Aspekten, von Sättigungseffekten und von grundlegenden strukturellen Veränderungen von Landwirtschaft und Landschaft als Folge von Sequestrierungsmassnahmen lässt sich dieses physikalische Potenzial

jedoch nicht vollständig realisieren, wie auch MCCARL AND SCHNEIDER (2001) in einer Studie für die USA gezeigt haben. Ein eher bescheidener Anteil dürfte im Rahmen der durch die geltende Agrarpolitik und Preisentwicklung bestimmten Anpassungsprozesse in der Landwirtschaft realisiert werden. Diese Entwicklung wird zwar mit Einkommenseinbussen für die Landwirte verbunden sein. Allerdings dürfen diese aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht nicht als Kosten der THG-Reduktion betrachtet werden.

Weiterführende Massnahmen zur Kohlenstoff-Sequestrierung und zur Verminderung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen sind jedoch mit zusätzlichen Kosten verbunden. Die Kosten betreffen einerseits die Landwirte in Form von Einkommensverlusten und andererseits die Volkswirtschaft in Form von möglichen Anreizzahlungen zur C-Sequestrierung bzw. zur dauerhaften C-Fixierung im Boden (Permanenz). Für eine umfassende ökonomische Analyse der Möglichkeiten einer C-Sequestrierung wäre ein räumlich differenzierter Ansatz erforderlich, für den jedoch für die Schweiz entsprechende Kenntnisse über standort-spezifische Unterschiede der Sequestrierungsraten und -potenziale fehlen. Aus diesem Grund mussten wir für unsere Analyse einen weniger detaillierten Modellansatz wählen, der es uns erlaubt, auf aggregierter Ebene für die Schweizer Landwirtschaft Auswirkungen von Preisänderungen und Politikmassnahmen zu analysieren und zu quantifizieren.

3. Möglichkeiten und Kosten der THG-Reduktion durch die Schweizer Landwirtschaft

Mit Hilfe des integrierten landwirtschaftlichen Allokationsmodells *S_INTAGRAL* haben wir unter Berücksichtigung der verfügbaren Informationen, struktureller Gegebenheiten und unterschiedlicher Szenarien die zu erwartende Entwicklung zwischen 1999 und 2010 als auch die Vermeidungskosten von THG-Reduktionsmassnahmen für die Jahre 2000 und 2010 berechnet (HEDIGER ET AL. 2004). Der integrierte Modellansatz umfasst neben der C-Sequestrierung in landwirtschaftlichen Böden auch die mit den landwirtschaftlichen Aktivitäten verbundenen THG-Emissionen, so dass die wichtigsten Aktivitäten im tierischen Bereich (Rindvieh-, Schaf- und Schweinehaltung sowie Hofdüngerlagerung und -verwendung) und im pflanzlichen Bereich (Ackerbau, Futterbau) mit ihren Auswirkungen im Modell abgebildet sind. Dem Grundsatz einer

umfassenden, aber nicht zu stark ins Detail gehenden Abbildung der Realität folgend, sind die integrierten Aktivitäten durch die Futter- sowie die Düngerbilanz miteinander verbunden. Weiterhin ist das Modell durch die Unterscheidung in die drei Zonen „Tal“, „Hügel“ und „Berg“ sowie dem zugelassenen Futtertransport und Milchkontingentshandel in höher gelegene Zonen den landwirtschaftlichen Strukturen möglichst gut angepasst.

Das lineare und aufgrund von Komplexität und Datenlage statische Optimierungsmodell wurde mit dynamischen Elementen ergänzt. Die einzelnen Jahre wurden in den Modellrechnungen rekursiv verknüpft, so dass die Strukturkosten und die Pfadabhängigkeit des Systems abgebildet werden können. Die Kalibrierung des Modells basiert auf Daten des THG-Inventars des Bundes und statistischer Daten über Tierbestände und Landnutzung des Bundesamtes für Statistik für das Jahr 1999. Darauf aufbauend wurde das Modell für das Jahr 2000 unter Einbezug von Strukturkosten und der Dynamik validiert. Für die Modellrechnungen bis zum ersten Verpflichtungszeitraum haben wir zwei Preisszenarien verwendet, welche durch leicht abnehmende schweizerische Produzentenpreise im Szenario „CH“ und sich stärker an EU-Preise annähernde und somit entsprechend tiefere Produzentenpreise im Szenario „EU“ gekennzeichnet sind.

Zudem haben wir unsere Modellergebnisse mit grundsätzlichen ökonomischen Überlegungen und weiteren Informationen kombiniert. Auf diese Weise lässt sich insbesondere der Wert der von der Landwirtschaft an die Erfüllung klimapolitischer Ziele erbrachten Leistungen ökonomisch beurteilen. Diese sind aus volkswirtschaftlicher Sicht bedeutend, da die Schweizer Landwirtschaft ihre THG-Emissionen bereits beträchtlich reduziert hat und noch weiter reduzieren wird.

Die Schweizer Landwirtschaft hat, wie zuvor erwähnt, seit 1990 bereits einen wesentlichen Beitrag an die Erfüllung der Kyoto-Verpflichtung der Schweiz geleistet, in dem sie ihre Emissionen bis 2000 um zirka 8 % reduziert hat. Daraus darf aber nicht abgeleitet werden, die Schweizer Landwirtschaft hätte ihre Verpflichtung im Rahmen des Kyoto-Protokolls bereits erfüllt. Die Ziele des Kyoto-Protokolls beziehen sich nicht auf einzelne Sektoren, sondern stellen nationale Ziele dar. Deshalb müssen die Kosten und Möglichkeiten der einzelnen Sektoren berücksichtigt und miteinander verglichen werden, um so die volkswirtschaftlich günstigsten Massnahmen zur THG-Reduktion ergreifen zu können.

Entsprechende Berechnungen und Studien liegen für den Energieverbrauchssektor (Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen, Haushalte und Verkehr) bereits vor, wie beispielsweise jene von BAHN AND FREI (2000). Diese haben im Rahmen eines EU-Projektes mit Hilfe eines allgemeinen Gleichgewichtsmodells die marginalen Vermeidungskosten für eine 10-prozentige Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen berechnet. Die entsprechenden Schätzungen liegen zwischen 83 bzw. 103 CHF pro Tonne CO₂ im Falle einer unilateralen Lösung und bei 42 CHF pro Tonne CO₂ im Falle der Beteiligung an einem internationalem Zertifikatshandel, welcher allerdings im Rahmen des Kyoto-Protokolls lediglich eine begrenzte Möglichkeit darstellt, die nationalen Reduktionsziele zu erreichen.

Ausgehend vom Kyoto-Protokoll und dem darin für die gesamte Schweiz festgelegten Reduktionsziel von 4,27 Mt CO₂eq/Jahr und unter Berücksichtigung der erwähnten Grenzkosten von 103 CHF/t CO₂, ergeben sich Vermeidungskosten für den Energieverbrauchssektor in der Höhe von zirka 200 Mio. CHF/Jahr, welche im Mittel im Verpflichtungszeitraum 2008-2012 anfallen würden. Als Folge der von der Landwirtschaft zwischen 1990 und 2000 geleisteten Emissions-reduktion vermindert sich der verbleibende Reduktionsdruck und die damit verbundenen Kosten für die schweizerische Volkswirtschaft. Somit resultiert bezogen auf das mittlere Referenzjahr 2010 ein Wert der von der Landwirtschaft bis zum Jahr 2000 erbrachten Reduktionsleistungen von zirka 53 Mio. CHF/Jahr im unilateralen Fall. Dies entspricht einer Reduktion der gesamtwirtschaftlichen Vermeidungskosten um 24 %. Aufgrund des bis ins Jahr 2010 in Folge sich ändernder Rahmenbedingungen zusätzlich zu erwartenden Rückgangs der landwirtschaftlichen THG-Emissionen dürfte sich der Wert gar auf eine Grössenordnung von 70 bis 100 Mio. CHF/Jahr erhöhen (vgl. Fälle C bis E in Tabelle 2). Diese Entwicklung ist zwar mit Einkommens-einbussen seitens der Landwirtschaft verbunden, welche aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht jedoch nicht als Kosten der THG-Reduktion betrachtet werden dürfen.

Tabelle 2: Wert der landwirtschaftlichen Leistungen 2010 im Falle unilateraler Politik mit CH-Preisszenario

	THG-Reduktion durch die Landwirtschaft [Mt CO ₂ eq/Jahr]	Verbleibende Reduktionsverpflichtung für den EVS [Mt CO ₂ eq/Jahr]	Erforderlicher CO ₂ -Preis [CHF/t CO ₂ eq]	Vermeidungskosten für den EVS [Mio CHF/Jahr]	Wert der landwirtschaftlichen Leistungen [Mio CHF/Jahr]	Vermeidungskosten für die Landwirtschaft [Mio CHF/Jahr]
A	0	4.27	103.00	219.7	0	0
B	0.55	3.72	89.72	166.7	53.0	0
C	0.73	3.53	85.27	150.6	69.1	0
D	1.10	3.17	76.44	121.0	98.7	0
E	1.12	3.15	75.96	119.5	100.2	0
F	1.22	3.05	73.55	112.0	107.7	2.2-2.5

EVS = „Energieverbrauchssektor“ (Industrie, Gewerbe, Verkehr, Haushalte und Dienstleistungen)

A = Kyoto-Ziel (Reduktionsverpflichtung)

B = Rückgang der landwirtschaftlichen THG-Emissionen 1990-2000

C = zu erwartender Rückgang der landwirtschaftlichen THG-Emissionen 1990-2010 gemäss Botschaft zum Kyoto-Protokoll (3 % Abnahme gegenüber dem Emissionsniveau 2000)

D = zu erwartender Rückgang der landwirtschaftlichen THG-Emissionen 1990-2010 gemäss Modellerrechnungen mit S_INTAGRAL (Szenario „CH“)

E = D inklusive Anrechnung der Senkenleistungen 2000-2010 (Szenario „CH“)

F = maximale Reduktion der landwirtschaftlichen THG-Emissionen im Jahre 2010 gemäss Modellerrechnungen mit S_INTAGRAL bei Verwendung gezielter ökonomischer Anreize (Szenario „CH“)

Durch weiterführende Massnahmen im Jahr 2010, welche mit direkten Vermeidungskosten für die Landwirtschaft von gegen 2,5 Mio. CHF/Jahr verbunden sein dürften, könnte die Schweizer Landwirtschaft ihre Emissionen um zusätzliche 0,1 Mt CO₂eq/Jahr senken und so einen zusätzlichen Beitrag im Wert von 7,5 Mio. CHF/Jahr an die Erfüllung der Kyoto-Verpflichtung leisten (vgl. Fall F in Tabelle 2). Gleichzeitig mit der durch die Leistungen der Landwirtschaft induzierten Abnahme der verbleibenden Reduktionsverpflichtung für den Energieverbrauchssektor nehmen auch dessen marginale Vermeidungskosten und somit der als Anreiz zur Reduktion erforderliche CO₂-Preis ab. Im unilateralen Fall und bei gemässigtem Preisszenario (Szenario „CH“) würde er im Extremfall von ursprünglichen 103 auf 73,55 CHF/t CO₂eq fallen.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht wäre eine Beteiligung am internationalen Zertifikatshandel anzustreben. Dadurch könnten die gesamtwirtschaftlichen Kosten, wie in Tabelle 3 veranschaulicht, im Jahr 2010 von 220 auf 143 Mio. CHF gesenkt werden. Der Wert der landwirtschaftlichen Leistungen wäre in diesem Fall etwas tiefer als bei einer unilateralen Politik und läge 2010 in der Grössenordnung von rund 30 bis 50 Mio. CHF/Jahr.

Tabelle 3: Wert der landwirtschaftlichen Leistungen 2010 bei internationalem Zertifikatshandel und EU-Preisszenario

	THG-Reduktion durch die Landwirtschaft [Mt CO ₂ eq/Jahr]	Verbleibende Reduktionsverpflichtung für den EVS [Mt CO ₂ eq/Jahr]	CO ₂ -Preis (gemäss BAHN AND FREI 2000) [CHF/t CO ₂ eq]	Gesamtkosten für den EVS (inkl. Zertifikate) [Mio CHF/Jahr]	Wert der landwirtschaftlichen Leistungen [Mio CHF/Jahr]	Vermeidungskosten für die Landwirtschaft [Mio CHF/Jahr]
A	0	4.27	42.00	142.7	0	0
B	0.55	3.72	42.00	119.6	23.1	0
C	0.73	3.53	42.00	111.8	30.8	0
D	1.125	3.14	42.00	95.4	47.3	0
E	1.15	3.12	42.00	94.4	48.3	0
F	1.155	3.11	42.00	94.1	48.5	0.1

A bis F: vgl. Tabelle 2, jedoch mit Szenario "EU".

4. Schlussfolgerungen

Insgesamt belegen die Modellresultate, dass die Landwirtschaft auch von 2000 bis 2010 nochmals einen bedeutenden und wertvollen Beitrag zur Erfüllung des Kyoto-Zieles leisten dürfte. Darüber hinaus könnte sie mit gezielten Massnahmen im Bereich der C-Sequestrierung einen zusätzlichen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgase leisten. Allerdings ist dieser Beitrag bis 2010 mit maximal 75 kt CO₂eq/Jahr durch Sequestrierungsmassnahmen im Vergleich zu den Reduktionsverpflichtungen der Schweiz von 4,27 Mt CO₂eq/Jahr eher als bescheiden zu bezeichnen. Jedoch ist zu betonen, dass zumindest kurzfristig betrachtet, Sequestrierungsmassnahmen in einem volkswirtschaftlich gesehen kostengünstigen Bereich liegen und auch aus wirtschaftlicher Sicht nicht einfach zu vernachlässigen sind. Die Modellresultate sind jedoch nicht nur auf Grund der numerischen Ergebnisse zu beurteilen.

Vielmehr gilt es, diese unter Berücksichtigung weiterer Aspekte, wie der Ausgestaltung allfälliger Politikmassnahmen bzw. Zahlungsregelungen, der Existenz von Transaktionskosten verschiedener Vertragsformen und der mit der Dynamik der C-Akkumulation verbundenen Problematik der Sättigung und Permanenz entsprechend differenziert zu interpretieren und daher aus einer längerfristigen Perspektive zu relativieren.

So muss aufgrund unserer Analyse und angesichts der Tatsachen, dass das errechnete Sequestrierungspotenzial aus wirtschaftlicher Sicht verhältnismässig klein ist, bei dessen Implementierung mit relativ hohen Transaktionskosten (Monitoring-Kosten) zu rechnen wäre, und Landwirte bei vertraglicher Bindung im Rahmen einer wirtschaftlich und fiskalisch vertretbaren Sequestrierungs-Politik einen Teil ihrer Nutzungs- und Verfügungsrechte abtreten müssten, von einer Anrechnung von Kohlenstoff-Senken in landwirtschaftlich genutzten Böden an die im Kyoto-Protokoll eingegangene Reduktionsverpflichtung abgeraten werden.

Aufgrund unserer Modellrechnungen erweisen sich Massnahmen zur THG-Reduktion im Tierbereich ebenso als höchst ineffizient und wirtschaftlich nicht vertretbar. Sie wären im Vergleich zu den Kosten für Emissionsverminderungen im nicht-landwirtschaftlichen Energiebereich mit unverhältnismässig hohen Kosten (Einkommenseinbussen für Landwirte) verbunden.

Es verbleibt somit die in unserer Untersuchung nicht berücksichtigte Produktion und Nutzung biologischer Ressourcen (nachwachsende Rohstoffe, Hofdünger, Abfälle) als CO₂-neutrale Energieträger, wobei diese aufgrund der bisherigen Strukturen und Wirtschaftlichkeit bis zum Verpflichtungszeitraum kaum einen wesentlichen Beitrag leisten können. Längerfristig bestünde hier allerdings die Möglichkeit, die Nutzung von CO₂-neutralen nachwachsenden Rohstoffen als Energie-träger gezielt zu fördern, beispielsweise über eine gezielte Verwendung von Erträgen aus einer allfälligen CO₂-Abgabe.

5. Literatur

ANTLE J.M. AND MCCARL B.A., 2002. "The economics of carbon sequestration in agricultural soils", in: T. Tietenberg and H. Folmer (Eds), *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics* 2002/2003. Edward Elgar, Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA; pp. 278-310.

ANTLE J.M., CAPALBO S.M., MOONEY S., ELLIOTT E.T. AND PAUSTIAN K.H., 2001. Economic Analysis of Agricultural Soil Carbon Sequestration: An Integrated Assessment Approach. *Journal of Agricultural and Resource Economics* (26), 344-367.

ANTLE J.M., CAPALBO S.M., MOONEY S., ELLIOTT E.T. AND PAUSTIAN K.H., 2003. Spatial Heterogeneity and the Efficient Design of Carbon Sequestration Policies for Agriculture. *Journal of Environmental Economics and Management* (46), 231-250.

BAHN O. AND FREI C., 2000. GEM-E3 Switzerland: A Computable General Equilibrium Model Applied for Switzerland. PSI-Bericht Nr. 00-01, January 2001, General Energy Research Department, ENE, Paul Scherrer Institut, Villigen PSI.

BUNDESRAT, 2002. Botschaft über das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Botschaft des Bundesrates vom 21. August 2002, BBl 2002 6385, Bern.

FISCHLIN A., BUCHTER B., MATILE L., AMMON K., HEPPERLE E., LEIFELD J. UND FUHRER J., 2003. Bestandesaufnahme zum Thema Senken in der Schweiz. Bericht/Report Nr. 29, Systemökologie ETHZ, Institut für Terrestrische Ökologie, ETH Zürich, März 2003.

HEDIGER W., 2004. Bestimmungsgründe und Entwicklung der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen und Kohlenstoff-Senken in der Schweiz. *Schriftenreihe* Nr. 2004/2, Institut für Agrarwirtschaft, ETH Zürich.

HEDIGER W., HARTMANN M., PETER S. UND LEHMANN B., 2004. Ökonomische Beurteilung und Monetarisierung der landwirtschaftlichen Leistungen im Klimaschutz, *Schriftenreihe* Nr. 2004/3, Institut für Agrarwirtschaft, ETH Zürich.

IPCC, (1997). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D.J. Griggs and B.A. Callender (Eds); IPCC/OECD/IEA. UK Meteorological Office, Bracknell. Available from IPCC Secretariat or download from web site of the Programme for National Greenhouse Gas Inventories.²

LEHMANN B. AND HEDIGER W., 2004. The contribution of grassland to social benefits of agriculture - an economic analysis. in: *Land Use Systems in Grassland Dominated Regions*, A. Lüscher et al. (eds.), *Grassland Science in Europe*, Vol. 9, vdf Hochschulverlag, Zurich, Switzerland, 2004, pp. 105-116.

LEIFELD J., BASSIN S. AND FUHRER J., 2003. Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland. *Schriftenreihe der FAL* 44. Swiss Federal Research Station for Agroecology and Agriculture, FAL Reckenholz, Zurich, Switzerland.

MCCARL B.A. AND SCHNEIDER U.A., 2000. U.S. Agriculture's Role in a Greenhouse Gas Emission Mitigation World: An Economic Perspective. *Review of Agricultural Economics*, 22: 134-159.

MCCARL B.A. AND SCHNEIDER U.A., 2001. Greenhouse Gas Mitigation in U.S. Agriculture and Forestry. *Science*, 294: 2481-2482.

MINONZIO G., GRUB A. UND FUHRER J., 1998. Methan-Emissionen der schweizerischen Landwirtschaft. *Schriftenreihe Umwelt* Nr. 298. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

PAULSEN J., 1995. *Der biologische Kohlenstoffvorrat der Schweiz*. Verlag Rüegger, Chur und Zürich.

PAUTSCH G.R., KURKALOVA L.A., BABCOCK B.A. AND KLING C.L., 2001. The Efficiency of Sequestering Carbon in Agricultural Soils. *Contemporary Economic Policy* 1, 9: 123-134.

SCHMID M., NEFTEL A. UND FUHRER J., 2000. Lachgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft. *Schriftenreihe der FAL* 33. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, FAL Reckenholz, Zürich.

² <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>

SCHNEIDER U.A. AND MCCARL B.A., 2003. Economic Potential of Biomass Based Fuels for Greenhouse Gas Emission Mitigation. *Environmental and Resource Economics*, 24: 291-312.

UNFCCC, 2000. *Review of the implementation of commitments and of other provisions of the Convention. UNFCCC guidelines on reporting and review*. United Nations, Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties, Fifth session, Bonn, 25 October - 5 November 1999; FCCC/CP/1999/7, 16 February 2000.

Summary

Greenhouse gas emissions from Swiss agriculture have been reduced by about 8 % since 1990. Hence, Swiss agriculture has already contributed 13 % to the national Kyoto target, although it is not legally bound to reduce greenhouse gas emissions. Since the reductions are a result of changes of agricultural policy and relative prices, related income losses can not be attributed to climate policy. In other words, the agricultural sector did not have to bear effective emission abatement costs.

If the current agricultural policy is continued, further reductions of agricultural GHG emissions by 3 to 10 % can be expected until 2010. These expectations are based on economic calculations made with the integrated agricultural allocation model S_INTAGRAL. Accordingly, Swiss agriculture may contribute 17 to 28 % to the national Kyoto target. The economic value of this reduction is estimated to be within the range of 30 to 107 million Swiss francs per year. This value is optional and can only be realized in the commitment period of 2008-2012. It reflects the reduction costs that could be saved by the rest of the economy. Moreover, the results show that soil carbon sequestration may constitute a moderate option in the reduction of the emissions in the short term. However, this potential is rather small compared to the national Kyoto target, and may involve relatively high costs of monitoring. From an economic point of view, this leads to the advice to renounce to targeted measures and incentives for additional GHG mitigation by the agricultural sector.

Keywords: climate policy, agriculture, greenhouse gas emissions, carbon sequestration, economic analysis.

Anschrift der Verfasser:

Institut für Agrarwirtschaft
Sonneggstr. 33
ETH-Zentrum
CH - 8092 Zürich

michael.hartmann@iaw.agrl.ethz.ch