

# Umwelt

## Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgasemissionen

Werner Hediger<sup>1</sup>, Simon Peter<sup>2</sup>, Michael Hartmann<sup>2</sup>, Michael Weber<sup>2</sup> und Bernard Lehmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, CH-3052 Zollikofen

<sup>2</sup> Gruppe Agrar-, Lebensmittel- und Umweltökonomie, Institut für Umweltentscheidungen, ETH Zürich, CH-8092 Zürich

Auskunft: Simon Peter, E-Mail: simonpeter@ethz.ch, Tel. +41 44 632 48 28

### Zusammenfassung

**E**ine kürzlich an der ETH Zürich abgeschlossene Studie zeigt, dass die Entwicklung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft auch in der näheren Zukunft in erster Linie von der Entwicklung der Tierbestände abhängig sein wird. Der Einsatz technischer Reduktionsmassnahmen dürfte angesichts der relativ hohen Vermeidungskosten beim aktuellen Stand der Technik – zumindest für das nächste Jahrzehnt – von untergeordneter Bedeutung sein. Die Resultate veranschaulichen zudem, dass das Ziel einer Reduktion der landwirtschaftlichen Treibhausgase (THG) um 20 % gegenüber 1990 bis ins Jahr 2020 auch bei Einführung einer THG-Abgabe von 50 CHF/t CO<sub>2</sub>eq nur bei einer gleichzeitigen Abnahme des Agrarpreisniveaus erreicht werden könnte. Dies hätte jedoch beträchtliche Einkommenseinbussen für die Landwirtschaft zur Folge.

Vor dem Hintergrund der neusten wissenschaftlichen Erkenntnisse zum globalen Klimawandel empfiehlt das Beratende Organ für Fragen der Klimaänderung (OcCC 2008), den Aufbau einer umfassenden nationalen Klimastrategie für die Schweiz. Die notwendigen Massnahmen der einzelnen Sektoren sollen optimal aufeinander abgestimmt und eine Verlagerung negativer Auswirkungen einer Massnahme auf andere Sektoren oder Regionen verhindert werden. Dabei wird auch der Landwirtschaft eine besondere Bedeutung zukommen, ist sie doch die grösste Verursacherin der Treibhausgase (THG) Methan und Lachgas und trägt mit rund 10 % zu den gesamten THG-Emissionen der Schweiz bei (FOEN 2009, p. 18).

### THG-Reduktion bis 2020

In einer früheren Studie wurden bereits die Leistungen der Schweizer Landwirtschaft im Klimaschutz aus einer ökonomischen Perspektive für das Jahr

2010 beurteilt und das wirtschaftliche Potenzial für die THG-Reduktion sowie die Nutzung von CO<sub>2</sub>-Senken in der Schweizer Landwirtschaft abgeschätzt (Hediger *et al.* 2004). Im Hinblick auf die Weiterentwicklung der nationalen Klimapolitik wurde nun im Auftrag des Bundesamts für Landwirtschaft (BLW), des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und des Schweizerischen Bauernverbandes (SBV) an der ETH Zürich unter dem Titel «THG 2020» eine weiterführende Studie (Peter *et al.* 2009) realisiert, in der das technologische und ökonomische THG-Reduktionspotenzial in der Schweizer Landwirtschaft für den Betrachtungszeitraum bis 2020 quantifiziert wurde. Damit steht ein entscheidungsunterstützendes Instrument zur Verfügung, das zur Ausarbeitung der nationalen Klimagesetzgebung (CO<sub>2</sub>-Gesetz) sowie zur oben genannten Klimastrategie im Bereich Landwirtschaft einen Beitrag liefert.

Der vorliegende Beitrag gibt eine Übersicht über das methodische Vorgehen und die wichtigsten Resultate dieser neusten Untersuchung. Wie in der ersten Studie geht es darum, das Potenzial zur Reduktion von landwirtschaftlichen THG-Emissionen in der Schweiz abzuschätzen und ökonomisch zu beurteilen. Allerdings liegen den Berechnungen aktualisierte agrarpolitische Szenarien und ein verlängerter Betrachtungszeitraum zu Grunde. Eine zusätzliche Erweiterung gegenüber der ersten Studie besteht darin, dass der Einsatz von landwirtschaftlichen THG-Reduktionstechnologien in die Analyse mit einbezogen und konkrete umweltpolitische Instrumente auf ihre potenzielle Wirkung hin geprüft werden.

Die in diesem Artikel zusammengefasste Studie ist begrenzt auf die Methan- und Lachgasemissionen der direkten landwirtschaftlichen Aktivitäten (Tierhaltung und Pflanzenbau) in der Schweiz. Die Vorläuferemissionen zur Herstellung landwirtschaftlicher Produktionsmittel und die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem landwirtschaftlichen Energieverbrauch sind ebenso wenig berücksichtigt, wie Umweltwirkungen in anderen Bereichen (z.B. verbesserte Lufthygiene). Auch die Veränderungen der Kohlenstoffvorräte infolge Landnutzungsänderungen sowie die Möglichkeiten der Kohlenstoffsequestrierung sind nicht Gegenstand der hier präsentierten Studie.

Die Ergebnisse der Arbeit dienen der Beantwortung folgender Forschungsfragen:

Wie wirken sich unterschiedliche Agrarpreis-Szenarien auf die Entwicklung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen bis ins Jahr 2020 aus?

Welchen Einfluss hätte die Einführung einer landwirtschaftlichen THG-Abgabe in der Höhe von 50 Franken/t CO<sub>2</sub>eq. beziehungsweise einer staatlichen Förderung von THG-Reduktionstechnologien auf die landwirtschaftlichen Methan- und Lachgas-Emissionen?

Die Untersuchungen stehen dabei stets in Bezug zur Frage, ob und zu welchen Kosten ein nationales Reduktionsziel von «minus 20 % gegenüber 1990» für die Schweizer Landwirtschaft bis ins Jahr 2020 erreichbar wäre.

### Analyse der THG-Reduktionstechnologien

Basierend auf einer Literaturrecherche über potenzielle THG-Reduktionstechnologien im Bereich der landwirtschaftlichen Produktion wurde eine Tech-

nologie-Auswahl getroffen, die die gestellten Anforderungen bezüglich Praxisreife, gesellschaftlicher Akzeptanz und Verfügbarkeit einer Schweiz spezifischen Datengrundlage erfüllt. Das Ergebnis dieser Auswahl ist ein Set expliziter technischer Massnahmen zur Reduktion von landwirtschaftlichen THG-Emissionen. Dazu gehören die Fettzugabe in der Rindviehfütterung, die Beigabe von Hofdüngeradditiven und die Güllelagerabdeckung. Wegen ihrer indirekten Wirkung können die anaerobe Vergärung von Hofdüngern und das Ausbringen von Flüssigmist mittels Schleppschlauchtechnologie ebenfalls als technologische Optionen zur THG-Reduktion angesehen werden, obwohl der primäre Zweck der beiden Massnahmen die Energieproduktion und die Ammoniakreduktion ist. Zusätzlich wird ein Set landwirtschaftlicher Management-Entscheide in die Analyse miteinbe-

zogen, deren Hauptzweck nicht die Reduktion landwirtschaftlicher THG-Emissionen ist, die aber das Niveau der THG-Emissionen beeinflussen. Dazu gehören die Art der Stallhaltung, das Ausmass der Weidehaltung, der Kraftfutteranteil in der Milchviehhaltung sowie die Erhöhung der Milchleistung.

Die ausgewählten technischen Massnahmen und landwirtschaftlichen Management-Entscheide werden anschliessend in das landwirtschaftliche Angebotsmodell S\_INTAGRAL (Peter 2008) implementiert. Mit Hilfe dieses Modells werden der Einfluss i) unterschiedlicher Agrarpreisniveaus, ii) einer THG-Abgabe und iii) einer gezielten Förderung von Reduktionstechnologien auf die Entwicklung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen bis 2020 untersucht. Die Verwendung eines integrierten Modellansatzes, in dem wirtschaftliche, agronomische und ökologische Wechselwirkungen

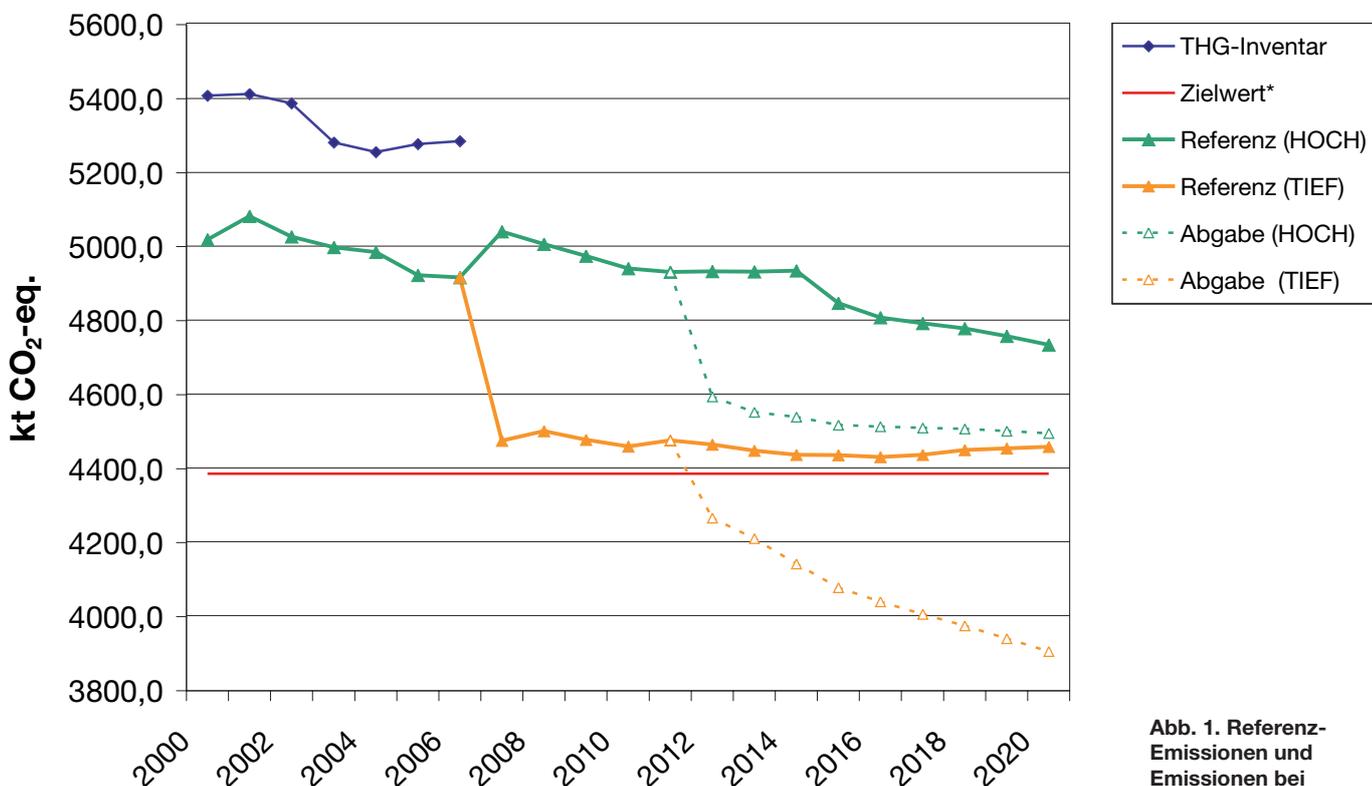


Abb. 1. Referenz-Emissionen und Emissionen bei einer THG-Abgabe für unterschiedliche Agrarpreis-Szenarien.

\* Der Zielwert ist um die modellbedingte, systematische Unterschätzung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen nach unten korrigiert (vgl. Differenz zwischen THG-Inventar und Referenz-Linie 2000 bis 2006).

simultan berücksichtigt werden, erweist sich dabei als sinnvoll. Er erlaubt insbesondere die vielfältigen Auswirkungen von technologischen Massnahmen auf THG-Emissionen, Kosten und Arbeitsbedarf innerhalb des Gesamtsystems ganzheitlich zu erfassen und zu analysieren.

### **Landnutzung und Tierhaltung im Mittelpunkt**

Um den Komplexitätsgrad der Analyse einzuschränken, wurden für die Modellrechnungen verschiedene vereinfachende Annahmen getroffen. So bildet S\_INTAGRAL nur die konventionellen landwirtschaftlichen Aktivitäten ohne Spezialkulturen ab. Nachfrageseitig wird von einer vollkommen elastischen Inlandnachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten ausgegangen. Allfällige Absatzverdrängungen durch billigere Importe (z.B. infolge Grenzschutzabbau) werden mit dem sektoralen Angebotsmodell S\_INTAGRAL nicht quantifiziert und bleiben somit unberücksichtigt. Die Agrarpreise sind im Modell exogen vorgegeben und unabhängig von den produzierten Mengen, wobei den Berechnungen drei unterschiedliche Agrarpreisszenarien (HOCH, MITTEL, TIEF) zu Grunde gelegt wurden, um den Einfluss des Agrarpreisniveaus auf die Entwicklung der THG-Emissionen zu evaluieren.

Das Agrarpreisszenario HOCH orientiert sich am erwarteten Preisniveau nach Umsetzung der AP 2011. Szenario MITTEL geht von Preisen aus, die gegenwärtig unter Freihandelsbedingungen mit der EU erwartet werden könnten und Szenario TIEF unterstellt europäische Durchschnittspreise der Tiefpreisjahre 2002 bis 2004. Die Direktzahlungen orientieren sich an der AP 2011 und bleiben in allen drei Preisszenarien unverändert. Im Weiteren gilt es festzuhalten, dass der gegenwärtige Stand der Technik die Grundlage

für die Abschätzung von Vermeidungskosten und Reduktionspotenzialen darstellt. Der Einfluss finanzieller Anreize (z.B. THG-Abgabe) auf Innovation und Forschung bezüglich der Entwicklung neuer, wirtschaftlicher Reduktionstechnologien bleibt unberücksichtigt.

### **Resultate: rückläufige THG-Emissionen**

Die Modellergebnisse zeigen, dass die landwirtschaftlichen THG-Emissionen zwischen 2006 und 2020 in allen drei Agrarpreisszenarien leicht rückläufig sind (Abb. 1). Bezogen auf das Basisjahr 1990 würde der Rückgang gesamthaft 14 % (HOCH, MITTEL) respektive 18,7 % (TIEF) betragen, da bis im Jahr 2006 bereits bedeutende Emissionsreduktionen stattgefunden haben (vor allem wegen der reduzierten Tierbestände). Insgesamt würde jedoch das Emissionsziel «minus 20 % gegenüber 1990» in allen drei Referenz-Szenarien (HOCH, MITTEL und TIEF) verfehlt.

Im Sinne einer vorsichtigen Interpretationsweise der Resultate darf die mit dem Modell berechnete Reduktion der THG-Emissionen von 2006 bis 2020 jedoch nicht a priori als gegeben betrachtet werden. Die effektiven Entwicklungen der Tierbestände und damit der THG-Emissionen können durchaus anders ausfallen als in den Modellergebnissen, insbesondere wenn die realen Preisentwicklungen, die politischen Rahmenbedingungen oder die verfügbaren Technologien stark von den Modellannahmen abweichen.

Die in den Modellrechnungen ab 2012 zusätzlich eingeführte landwirtschaftliche THG-Abgabe von 50 CHF/t CO<sub>2</sub>eq bewirkt eine Reduktion der THG-Emissionen um 5 % (im Szenario HOCH) bis 13 % (im Szenario MITTEL) gegenüber den jeweiligen Referenzemissionen im Jahr 2020 (Abb. 1). Bezogen auf die THG-

Emissionen im Basisjahr 1990 würde der Rückgang im Abgabe-Szenario rund 18 % (HOCH), 24 % (MITTEL) beziehungsweise 28 % (TIEF) betragen. Mit anderen Worten, das Reduktionsziel würde im Szenario HOCH trotz der THG-Abgabe knapp nicht erreicht. Hingegen deuten die Modellresultate darauf hin, dass mit der THG-Abgabe das Emissionsziel bei entsprechender Entwicklung der Agrarpreise (d.h. in den Szenarien MITTEL und TIEF) eindeutig unterschritten werden könnte. Allerdings hätte die landwirtschaftliche THG-Abgabe – trotz Rückerstattungsmechanismus an die Bevölkerung (einschliesslich Bauernfamilien) – in allen Agrarpreisszenarien eine deutliche Nettobelastung für die Landwirtschaft zur Folge und würde jährlich sektorale Einkommenseinbussen von mehr als 200 Millionen Franken verursachen.

### **Geringes Potenzial technischer Massnahmen**

Die durch die THG-Abgabe induzierte Emissionsreduktion erfolgt in den Modellergebnissen fast ausschliesslich über einen Abbau der Tierbestände und nicht über den Einsatz der berücksichtigten technologischen Massnahmen. Weil letztere relativ hohe Vermeidungskosten aufweisen, liesse sich das eher bescheidene technische Reduktionspotenzial dieser Massnahmen (ca. 9 % der landwirtschaftlichen THG-Emissionen) auch mit einem hohen Fördersatz von 1'500 bis 2'000 Franken/t CO<sub>2</sub>eq nur teilweise realisieren. Wie die Ergebnisse zum Szenario Technologie-Förderung (Abb. 2) verdeutlichen, wäre die durch entsprechende Fördersätze induzierte Emissionsreduktion gerade ausreichend, um etwa im Szenario HOCH die verbleibende Ziellücke von ca. 350 kt CO<sub>2</sub>eq pro Jahr zu schliessen. Der erforderliche Finanzbedarf

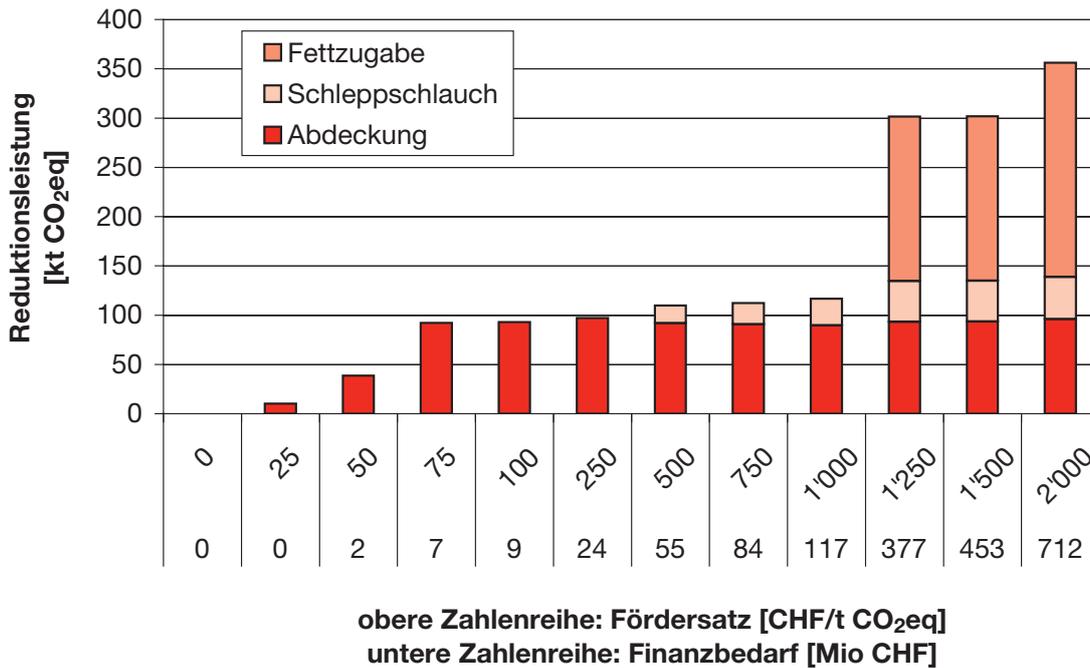
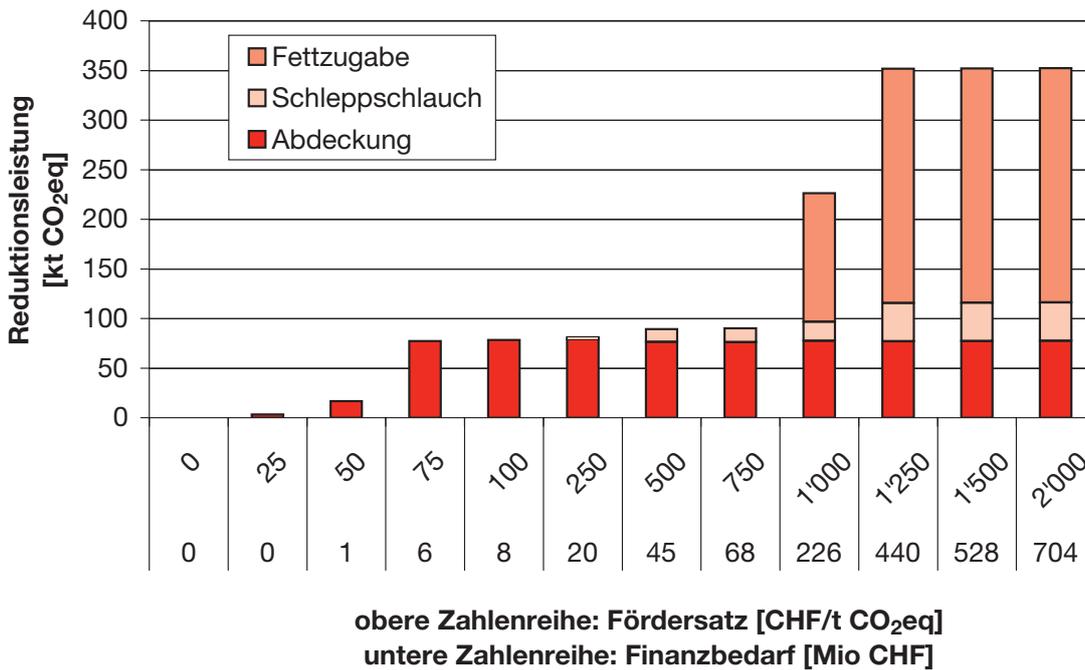


Abb. 2. Kosten und THG-Reduktionspotential bei Technologie-Förderung im Jahr 2020.

a) Szenario Hoch: notwendige Reduktion gegenüber «Referenz-HOCH», um das Ziel «minus 20 % gegenüber 1990» zu erreichen: 348 kt CO<sub>2</sub>eq pro Jahr.



b) Szenario TIEF: notwendige Reduktion gegenüber «Referenz-TIEF», um das Ziel «minus 20 % gegenüber 1990» zu erreichen: 75 kt CO<sub>2</sub>eq pro Jahr.

für diese THG-Menge würde bei derart hohen Fördersätzen jedoch jährlich gegen 700 Millionen Franken betragen. Demgegenüber wäre der Einkauf von Emissionszertifikaten an der Börse Leipzig für die äquivalente CO<sub>2</sub>-Menge zurzeit mit

bedeutend tieferen Kosten verbunden, wie auch frühere Resultate von Hartmann *et al.* (2008) unterstreichen.

Bei den technischen Massnahmen wäre einzig die Abdeckung der heute noch offenen Güllelager zu Kosten von weni-

ger als 100 Franken/t CO<sub>2</sub>eq realisierbar. Das Reduktionspotential durch diese Massnahme ist jedoch stark eingeschränkt (max. 100 kt CO<sub>2</sub>eq/Jahr), weil bereits rund 2/3 der Güllelager abgedeckt sind (Reidy und Menzi 2005).

**Abb. 3. Wiederkäuer sind die Hauptquelle landwirtschaftlicher THG-Emissionen.**  
(Foto: Werner Hediger)



### **Entwicklung der Tierbestände ausschlaggebend**

Die Modellergebnisse zeigen, dass eine Emissionsreduktion über den Abbau landwirtschaftlicher Aktivitäten kostengünstiger ist als über den Einsatz der im Modell berücksichtigten technischen Massnahmen und Management-Entscheidungen (z.B. Art der Stallhaltung). Folglich wird die Entwicklung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen auch in der näheren Zukunft hauptsächlich von der Entwicklung der Tierbestände abhängen. Der Einsatz technischer Reduktionsmassnahmen dürfte zumindest kurzfristig und beim gegenwärtigen Stand der Technik von untergeordneter Bedeutung sein. Insgesamt sind Massnahmen in der schweizerischen Landwirtschaft, angesichts der hohen Vermeidungskosten beim Technikeinsatz wie auch bei einer Tierbestandesreduktion, als teuer zu bezeichnen.

### **Forschung intensivieren**

Vor allem der Einsatz technologischer Massnahmen ist zum

heutigen Zeitpunkt aus wirtschaftlicher Sicht nur bedingt zu empfehlen. In diesem Zusammenhang muss jedoch gleichzeitig darauf hingewiesen werden, dass der quantitativen Analyse in der Studie lediglich die heute bekannten und bereits praxisreifen Emissionsvermeidungstechnologien zu Grunde liegen. Wenn die Anstrengungen in der Forschung zur Entwicklung neuer, effektiver und vor allem wirtschaftlicherer Reduktionstechnologien führen, kann der Technikeinsatz in Zukunft unter Umständen einen substantiellen Beitrag zur Reduktion landwirtschaftlicher THG-Emissionen leisten. So hat die Literaturrecherche gezeigt, dass einige Technologien grosse Potenziale zur Vermeidung besitzen dürften, diese aber mehrheitlich noch nicht praxisreif sind. Da die Methanemissionen bei der Fütterung die bedeutendste THG-Fraktion darstellen, wäre vor allem die Entwicklung von praxisfähigen und wirtschaftlichen Reduktionsoptionen in diesem Bereich wünschenswert.

Insgesamt dürfte eine Intensivierung der landwirtschaftlichen Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der THG-Reduktionstechnologien eine empfehlenswerte Investition darstellen, damit die Landwirtschaft in Zukunft einen nachhaltigen und ökonomisch sinnvollen Beitrag zur THG-Reduktion leisten kann.

Die Reduktion von Tierbeständen zur Verminderung landwirtschaftlicher Treibhausgase erscheint – neben dem Kostenargument – auch aus globaler klimapolitischer Sicht hinterfragenswert, weil bei unverändertem Konsumverhalten die Inlandnachfrage lediglich durch Importe gedeckt werden dürfte. Dies würde eine Verlagerung der THG-Emissionen ins Ausland implizieren. Falls dabei die Produktion im Ausland (inklusive dem Gütertransport in die Schweiz) nicht mit geringeren THG-Emissionen als bei einer schweizerischen Produktion verbunden wäre, würde diese Strategie keinen Beitrag zur globalen Emissionsreduktion

leisten, trotz gesenkter nationaler THG-Emissionen.

Die Verminderung der Tierbestände als THG-Vermeidungsmassnahme müsste jedoch anders beurteilt werden, wenn sie das Resultat eines veränderten Konsumverhaltens ist (z.B. weniger Fleischkonsum). Diese Möglichkeit blieb im Rahmen der präsentierten Studie jedoch unberücksichtigt, da der Schwerpunkt der Arbeit auf die Beurteilung angebotsseitiger Reduktionsoptionen und nicht auf nachfrageseitige Ansätze gelegt wurde. Um entsprechende Fragen zu beantworten, wären weitere und methodisch anders gelagerte Analysen erforderlich, welche die Produktions- und Konsumseite gemeinsam berücksichtigten.

## Literatur

■ FOEN, 2009. Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2007, National Inventory Report 2009, Submission of 15 April 2009 under the United Nations Framework Convention on Climate

Change and under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment FOEN, Bern, Switzerland.

■ Hartmann M., Hediger W. & Peter S., 2008. How Much Should Swiss Farmers Contribute to Greenhouse Gas Reduction? A Meta-Analytical Approach. Yearbook of Socioeconomics in Agriculture 2008, pp. 183–218.

■ Hediger W., Hartmann M., Peter S. & Lehmann B., 2004. Ökonomische Beurteilung und Monetarisierung der landwirtschaftlichen Leistungen im Klimaschutz. Schriftenreihe Nr. 2004/3, Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie (vormals Institut für Agrarwirtschaft), ETH Zürich.

■ OcCC, 2008. Das Klima ändert – was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz. OcCC – Organe consultatif sur les changements climatiques (Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung), Bern.

■ Peter S., 2008. Modellierung agrarökologischer Fragestellungen unter Berücksichtigung des

landwirtschaftlichen Strukturwandels. Dissertation Nr. 17820, ETH Zürich.

■ Peter S., Hartmann M., Weber M., Lehmann B. & Hediger W., 2009. «THG 2020» – Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz. InfoAgrarWirtschaft 2009/1. Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie, ETH Zürich.

■ Reidy B. & Menzi H., 2005. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neues Emissionsinventar 1990 und 2000 mit Hochrechnungen bis 2003. Technischer Schlussbericht zuhanden BUWAL. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), Zollikofen.

## RÉSUMÉ

### Réduction des gaz à effet de serre engendrés par l'agriculture

Une étude qui vient de se terminer à l'Ecole Polytechnique fédérale de Zurich (ETH Zürich) montre que l'évolution des gaz à effet de serre provenant de l'agriculture suisse continuera dans un futur proche à dépendre en premier lieu de l'évolution des effectifs d'animaux. La mise en place de mesures de réduction d'ordre technique ne devrait avoir qu'une signification marginale (en tout cas pour la prochaine décennie) à cause des coûts relativement élevés de réduction des émissions, dans l'état actuel de la technique. En outre, les résultats laissent entrevoir que l'objectif d'une réduction des gaz à effet de serre issus de l'agriculture de 20 % jusqu'en 2020 par rapport à 1990 ne pourrait être atteint même en introduisant une taxe de CHF 50 par tonne d'équivalent CO<sub>2</sub>, sauf si en parallèle le niveau des prix des produits agricoles pouvait être abaissé. Ceci aurait cependant comme conséquence des pertes de revenu importantes pour l'agriculture.

## SUMMARY

### The reduction of agricultural greenhouse gas emissions

A recent study at the ETH Zurich shows that the development of agricultural greenhouse gas (GHG) emissions in Switzerland will, also in the near future, mainly depend on the development of livestock populations. Current GHG reduction measures may only play a marginal role, given their relatively high cost. Furthermore, the results indicate that the target of reducing agricultural GHGs by 20 % below the 1990 level could be achieved with a GHG charge of 50 CHF/t CO<sub>2</sub>eq only if at the same time the agricultural price level would be lowered. Yet, this would entail substantial income losses for the farmers.

**Key words:** climate policy, agricultural production, greenhouse gas emissions, mitigation technologies, economic appraisal.