

Umwelt

Treibhausgasquellen und -senken: die «Kyoto-Wiese»

Albrecht Neftel, Christof Ammann, Pierluigi Calanca, Chris Flechard, Jürg Fuhrer, Jens Leifeld und Markus Jocher, Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich
Auskünfte: Albrecht Neftel, E-Mail: albrecht.neftel@fal.admin.ch, Fax +41 (0)44 377 72 01, Tel. +41 (0)44 377 75 04

Zusammenfassung

Das Experiment «Kyoto-Wiese» in Oensingen im Kanton Solothurn zeigt, dass eine Umwandlung von Ackerland in intensiv bewirtschaftetes Dauergrünland zu einer Kohlenstoff-Senke von rund 1,5 Tonnen pro Hektare und Jahr führt. Dies entspricht etwa dem jährlichen Treibstoffverbrauch eines Personenwagens. Dazu muss dem System aber eine adäquate Menge Stickstoff zugeführt werden. Die Lachgas-Emissionen kompensieren auf der intensiv bewirtschafteten Wiese rund 16 % der durch die Nutzungsänderung gewonnenen CO₂-Bindung, ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten. Die extensiv genutzte Wiese weist, bedingt durch den hohen Vorrat an verfügbaren Nährstoffen, einen guten Ertrag bei vernachlässigbaren Lachgas-Emissionen auf. Das System entwickelt jedoch einen neuen Gleichgewichtszustand mit einem möglicherweise tieferen Kohlenstoff-Gehalt im Boden. Eine Änderung der Bewirtschaftung kann folglich sowohl einen positiven als auch einen negativen Einfluss auf die Treibhausgas-Bilanz von Landwirtschaftsland haben.

Die globale Klimaerwärmung ist eine Tatsache. Die Zunahme der atmosphärischen Konzentration von Treibhausgasen ist ein wichtiger Grund dafür. Das am 16. Februar 2005 in Kraft gesetzte Kyoto-Protokoll setzt auf internationaler Ebene Mechanismen in Gang, mit welchen der Ausstoss der klimarelevanten Gase Kohlendioxid (CO₂), Lachgas (N₂O), Methan (CH₄) und einer Reihe von weiteren Spurengasen nachhaltig verringert werden sollen. Die Industriestaaten verpflichten sich verbindlich, ihre Emissionen der sechs wichtigsten Treibhausgase im Zeitraum von 2008 bis 2012 um durchschnittlich mindestens 5 % unter das Niveau von 1990

zu senken. Die Schweiz hat sich zu einer Reduktion von mindestens 8 % verpflichtet (BUWAL 2005a).

Rund 80 % der Treibhausgas-Emissionen gelangen in der Schweiz als CO₂ in die Atmosphäre, Methan und Lachgas tragen 8 % respektive 6 % zum Total der Emissionen bei. Die Landwirtschaft war 2002 für gut 12 % der Gesamtemissionen verantwortlich. Dieser Anteil geht überwiegend auf Methan und Lachgas zurück, welche zu je 60 % aus der Landwirtschaft kommen.

Das Kyoto-Protokoll sieht vor, dass die Speicherung von Kohlenstoff (C) in Ökosystemen, die so genannte C-Sequestrierung, an die CO₂-Reduktion angerechnet werden kann, sofern die langfristige Erhaltung solcher C-Senken nachgewiesen wird. Die Erhaltung oder Förderung von C-Senken im Landwirtschaftsland und die Minimierung der Treibhausgas-Emissionen wird damit zu einem neuen und wichtigen

Optimierungsaspekt in der Landwirtschaftspolitik.

Um Behörden, Bauern und Öffentlichkeit Entscheidungsgrundlagen zu liefern, entstand auf europäischer Ebene eine Serie von Forschungsprojekten (Kasten). Diese sollen die Treibhausgasflüsse und -Bilanzen der Ökosystemtypen Wald, Ackerland und Grasland quantifizieren. Die Forschungsgruppe Lufthygiene/Klima von Agroscope FAL Reckenholz ist in allen drei Projekten an den Untersuchungen von Graslandsystemen beteiligt.

Das Projekt «Kyoto-Wiese»

Als Beitrag an das Projekt «Greengrass» wurden unter der Bezeichnung «Kyoto-Wiese» im Frühling 2001 auf dem Versuchsgelände von Agroscope FAL Reckenholz in Oensingen Messungen begonnen, um die Treibhausgas-Bilanz auf der Feldskala nach der Umwandlung von Acker in Dauergrünland zu bestimmen. Diese Umwandlung weist theoretisch ein beträchtliches Potenzial zur C-Sequestrierung auf (Leifeld *et al.* 2003). Das Feld wurde aus der Ackerrotation herausgenommen und im Mai 2001 eingesät. Die eine Hälfte des Feldes wird seither intensiv bewirtschaftet: vier bis fünf Schnitte, Düngung abwechslungsweise mit organischem Dünger und Mineraldünger, Saatgutmischung 444. Die andere Hälfte wird extensiv bewirtschaftet: zwei bis drei Schnitte, keine Düngung, Saatgutmischung

Tab.1. Treibhausgas-Emissionen der Schweiz in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente

	Gesamtemission (2002)	Emissionen der Landwirtschaft
CO ₂	43,74	0,74
Methan	4,25	2,86
Lachgas	3,55	2,57
Synthetische Gase	0,69	0
Total	52,25	6,18

Quelle: BUWAL 2005b

450 + Flora 2 (Lehmann *et al.* 2000). Die Felder werden nicht beweidet. Die Forschenden konnten auf die Unterstützung von Paula Schwaninger und Franz Gut von der Feldequipe und auf die zuverlässige und sehr angenehme Zusammenarbeit mit dem Bewirtschafter des Versuchsbetriebes in Oensingen, Walter Ingold, zählen.

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die vollständige Erfassung der C-Bilanz und die Messung der Lachgasemissionen. Insbesondere interessierte die Frage, wie weit eine netto C-Speicherung im Boden durch eine erhöhte N₂O-Emission kompensiert wird. Die Aufnahme beziehungsweise Abgabe von Methan wurde an Bodenproben im Labor bestimmt und ist erwartungsgemäss so gering, dass sie vernachlässigt werden kann.

Die Bestimmung der C-Bilanz

Der grösste C-Eintrag in ein Ökosystem erfolgt über die Assimilation von CO₂ über die Photosynthese (Abb. 1). Dieser C-Fluss wird zu einem grossen Teil durch die Respiration der Pflanzen und der Bodenlebewesen – von der Maus über die Regenwürmer bis zu den unzähligen Mikroorganismen – ausgeglichen. Die Differenz der beiden Flüsse (Respiration – Assimilation), das heisst der Netto-Austausch von CO₂, wird folgerichtig als Net Ecosystem Exchange (NEE) bezeichnet. Der NEE entspricht der C-Menge, welche das Feld aufnimmt und in oberirdische und unterirdische Biomasse anlegt. Die oberirdische Biomasse steht als Ertrag zur Verfügung und wird somit aus dem System abgeführt. Die Differenz von NEE und C-Export mit der Ernte entspricht somit der Zunahme der C-Menge im System. Im Fall von Düngung mit organischen Düngern muss auch dieser C-Eintrag in der Berechnung berücksichtigt werden.

Europäische Forschungsprojekte

Die Forschungsgruppe Lufthygiene / Klima von Agroscope FAL Reckenholz ist an drei internationalen Forschungsprojekten der Europäischen Union beteiligt:

Greengrass

Greengrass ist ein Forschungsprogramm im 5. Forschungs- und Entwicklungsprogramm der EU mit einer Laufzeit von 2002 bis 2004, an welchem 17 Gruppen beteiligt waren. Hauptziel war die Bestimmung der Treibhausgasbilanz von Graslandsystemen und die Evaluation von Reduktionsmöglichkeiten. Im Speziellen wurde systematisch untersucht, wieweit Graslandsysteme die Kohlenstoffmenge im Boden erhöhen können und ob diese Funktion durch erhöhte Emissionen von Methan und Lachgas kompensiert werden. Weitere Informationen: <http://www.clermont.inra.fr/greengrass>.

Beiträge von Agroscope FAL Reckenholz:

- Dreijährige Messserie der bidirektionalen Austauschflüsse von CO₂, N₂O, Wasser und Energie, welche zusammen mit den detaillierten Ernteerhebungen die Treibhausgasbilanz auf zwei Feldern ergibt,
- Anwendung und Weiterentwicklung des prozessorientierten Graslandmodells PaSim (Pasture Simulation Model).

CarboEuropeIP

CarboEurope Integrated Project ist ein Forschungsprogramm im 6. Forschungs- und Entwicklungsprogramm der EU mit der Laufzeit 2004 bis 2008, an welchem 61 Forschergruppen aus 15 Ländern beteiligt sind. Es hat zum Ziel, die Rolle der europäischen Ökosysteme im globalen C-Zyklus zu charakterisieren. Weitere Informationen: <http://www.carboeurope.org>.

Beitrag von Agroscope FAL Reckenholz:

Die Forschungsgruppe Lufthygiene und Klima ist verantwortlich für die Messungen an der Schweizer «Supersite». Dabei werden an je einem Gras-, Acker- und Waldstandort in Zusammenarbeit mit der ETH-Zürich die C-Bilanzen mittels mikrometeorologischen Messungen gemessen.

NitroEurope IP

NitroEurope ist auf eine Integration der europäischen Forschung über Aspekte des Stickstoffkreislaufes ausgerichtet. Es wurde in der zweiten Ausschreibung des 6. Forschungs- und Entwicklungsprogramms eingereicht. Es wird von 2006 bis 2010 dauern. Mehr als 70 Forschungsgruppen werden sich beteiligen. Weitere Informationen: <http://www.neu.ceh.ac.uk>.

Beitrag von Agroscope FAL Reckenholz:

Betrieb einer Grasland «Supersite» in Oensingen. Der Schwerpunkt liegt auf experimentellen Untersuchungen, welche zu einem verbesserten Prozessverständnis des Biosphären-Atmosphären-Austauschs von oxidierten und reduzierten Stickstoffverbindungen beitragen. Anpassung des haus-eigenen Prozessmodells PaSim (Pasture Simulation Model) an die C-N Kopplung.

Der NEE wird seit Januar 2002 mit je einem Messsystem in der Mitte der beiden Felder berührungsfrei 1,2 Meter über dem Boden gemessen (Abb. 2). Dazu werden mit einer zeitlichen Auflösung von 20 Messungen pro

Sekunde die vertikale Windbewegung und die CO₂-Konzentration bestimmt.

Werden die instantanen Abweichungen der beiden Grössen von den Mittelwerten miteinander

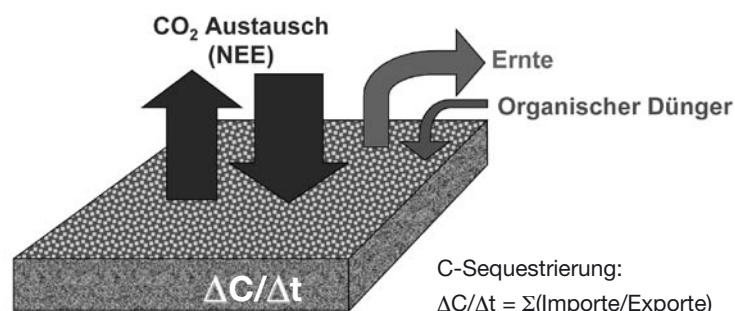


Abb. 1. Schematische Kohlenstoff-Flüsse auf einem Grasland.

Abb. 2. Messturm zur Bestimmung des CO₂-Austausches durch die Eddy-Korrelations-Methode. Rechts ist der dreiarmlige Ultraschallgeber zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit in drei Dimensionen, davor das weisse Infrarotabsorptionsgerät, welches die Wasserdampf- und CO₂-Konzentrationen misst. (Foto: Markus Jocher, Agroscope FAL Reckenholz)



multipliziert und für eine Periode von 30 Minuten aufsummiert, ergibt sich der vertikale CO₂-Fluss zwischen Grasland und Atmosphäre. Diese Flussmessung heisst Eddy-Korrelations-Technik. Der Gas-Austausch geschieht über Wirbel, welche zu einem ständigen Luftaustausch in vertikaler Richtung führen. Wird am Tag CO₂ durch die Pflanzen aufgenommen, so hat ein Luftpaket, das sich von oben nach unten bewegt, eine etwas höhere Konzentration als ein entsprechendes Paket, das sich von unten nach oben bewegt und dessen CO₂-Konzentration durch die Photosynthese verringert wurde. Überwiegt die CO₂-Abgabe durch Respiration drehen sich die Verhältnisse um. Diese Art der Bestimmung des

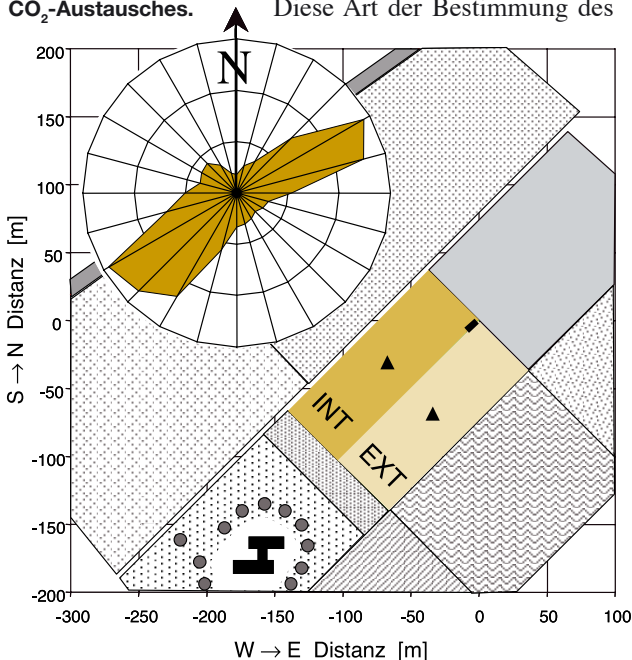
NEE ist bei Regen, Taubildung und tiefen Windgeschwindigkeiten, wie sie vor allem nachts in Oensingen häufig vorkommen, jedoch nicht möglich. Die entstehenden Datenlücken müssen rechnerisch überbrückt werden.

Flussmessungen mit der Eddy-Korrelations-Technik ergeben den Fluss am Ort der Sensoren, und dieser entspricht dem Gas-Austausch zwischen der Atmosphäre und einer grösseren Fläche, dem «Footprint», die auf der dem Wind zugewandten Seite liegt. Je nach Windrichtung und -geschwindigkeit werden dabei verschiedene Flächen gemessen. Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass die Felder parallel zu den Hauptwindrichtungen ausgerichtet sind. Durch die Installation der Messsysteme in der Feldmitte ist gewährleistet, dass ein möglichst grosser Anteil des Footprints innerhalb des Messfeldes liegt. Die Footprint-Verteilung wird in unserem Fall für jede halbe Stunde berechnet. Messwerte, für welche der Footprint-Anteil im Feld kleiner als 70 % ist, werden für die Berechnung des NEE nicht berücksichtigt (Ammann *et al.*, eingereicht). Die Jahresbilanz des NEE wird anschliessend mittels aufwändigem Auswerteverfahren berechnet.

Der kumulative Verlauf des NEE auf beiden Feldern ist in Abbildung 4 zusammen mit den

Verläufen von Bodenfeuchte und Temperatur dargestellt. Zunehmende Werte von NEE bedeuten eine netto CO₂-Abgabe des Feldes, abnehmende Werte eine netto CO₂-Aufnahme. Die Kurven zeigen zuerst den erwarteten Verlauf: In den Wintermonaten überwiegt die Respiration, während dem Rest des Jahres die Assimilation. Nach jedem Schnitt erfolgt eine kurze Phase mit CO₂-Verlust, bevor das Wachstum wieder genügend gross ist. Eindrücklich präsentiert sich der Hitzesommer 2003, welcher zu einem drastischen Einbruch des Wiesenertrags führte bei nur geringer Verminderung der Respiration. Die extensiv genutzte Wiese zeigte sich dabei etwas resistenter gegenüber der extremen Hitze- und Trockenphase.

Abb. 3. Schematische Darstellung der beiden Messfelder (INT und EXT) und deren Nachbarfelder in Oensingen, sowie der mittleren jährlichen Windrichtungs-Verteilung (Windrose). Die Dreieck-Symbole in der Feldmitte bezeichnen die beiden Eddy-Korrelations-Systeme zur Messung des CO₂-Austausches.



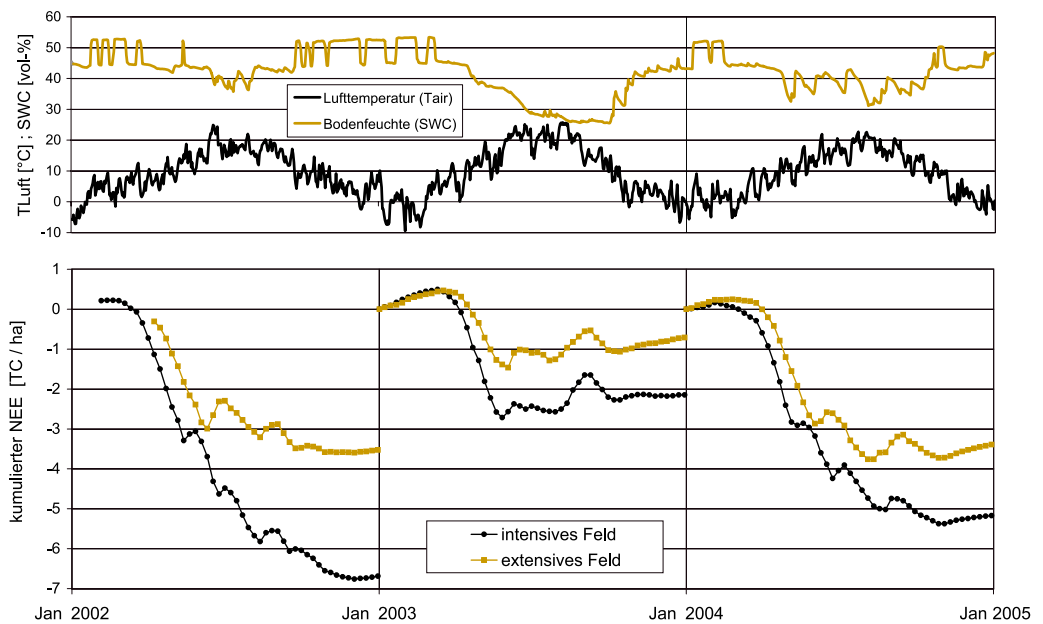
Die C-Bilanz der Felder im Vergleich

Der NEE macht nur einen Teil des C-Budgets aus. Nicht enthalten in den NEE-Kurven in Abbildung 4 sind die Erntemengen, die vom Feld weggeführt werden. Sie führen später, ausserhalb des hier betrachteten Systems «Feld», zu Emissionen, wenn das Gras den Kühen verfüttert wird. Deshalb muss im C-Budget des Feldes der Kohlenstoff-Entzug über die Ernte, wie auch der Eintrag über Hofdünger, berücksichtigt werden. In unserem Projekt wurde der Ertrag mit Subplots (direkt nach dem Schnitt) und teilweise mit Vollertragsmessungen (abgeführte Ernte auf dem Wagen) gemessen. Dabei ergaben sich systematisch etwa 20 % höhere Werte bei der Subplot-Bestimmung als bei der Vollertragsmessung. Dies ist bedingt durch Verluste bei der Feldtrocknung und der maschinellen Aufnahme sowie durch die unterschiedlichen Schnitthöhen. Letztere gehen ihrerseits darauf zurück, dass für die Subplot-Bestimmungen ein Balkenhandmäher eingesetzt

und das restliche Feld mit einem weniger tief schneidenden Kreiselmäher geschnitten wurde (Abb. 5). Entscheidend für die Bilanz ist nicht die Bestimmung der oberirdischen Biomasse, sondern wie viel Kohlenstoff vom Feld weggeführt wird.

Abbildung 6 zeigt die durchschnittliche C-Bilanz der beiden Felder für die drei Messjahre. Zwei Ergebnisse springen ins Auge: 1. Die Erträge der beiden Wiesen sind annähernd gleich hoch, bei der C-Bilanz zeigt sich jedoch ein deutlicher Unterschied. 2. Die intensiv bewirtschaftete Wiese weist eine jährliche C-Sequestrierung in der Grössenordnung von 1,5 Tonnen Kohlenstoff pro Hektare auf, während die extensive Wiese zu einem netto C-Verlust tendiert. Statistisch gesehen sind die gemessenen C-Sequestrierungsraten nicht oder nur schwach signifikant von Null verschieden. Die Differenz zwischen den beiden Feldern ist jedoch signifikant, da sich eine Reihe von möglichen systematischen Fehlern bei beiden Feldern gleich auswirken.

Der Unterschied in der C-Bilanz überrascht auf den ersten Blick, ist jedoch mit der Anpassung der Bodenorganismen an die veränderte Bewirtschaftung erklärbar. Da auf der extensiven Wiese Nährstoffe nur aus der Luft (Regen und trockene Deposition) zugeführt werden, wird durch die Bodenorganismen verstärkt die organische Bodensubstanz mineralisiert und Nährstoffe, insbesondere Stickstoff, freigesetzt. Die Felder befanden sich vor der Umstellung in einer Ackerrotation, welche zu einem hohen Vorrat an leicht verfügbarem organischem Material führte. Eine Abschätzung der N-Bilanz der beiden Felder zeigt denaueh, dass die Verfügbarkeit von Stickstoff durch N-Fixierung und atmosphärischen N-Eintrag den N-Entzug durch die Ernte



auf dem extensiven Feld nicht kompensiert. Somit muss ein grösserer Anteil des Stickstoffs aus dem Abbau der organischen Bodensubstanz stammen. Die notwendige Energie dazu entnehmen die Mikroorganismen, die den Abbau bewirken, ebenfalls der Bodensubstanz, welche verstärkt veratmet wird.

Der N₂O-Austausch

N₂O-Moleküle absorbieren, berechnet für die Dauer von 100 Jahre, die von der Erde abgegebene Wärmestrahlung rund 200-mal stärker als CO₂-Moleküle. Deshalb ist die N₂O-Emission eine wichtige Komponente der Treibhausgasbilanz von landwirtschaftlichen Systemen. Lachgas wird durch Mikroorganismen bei der Nitrifikation, das heisst bei der Oxidation von Ammonium zu Nitrat, und bei

der Denitrifikation, das heisst bei der Reduktion von Nitrat, im Boden gebildet (Davidson 1991). Grundsätzlich wird N₂O im Boden sowohl gebildet als auch aufgenommen. Die Aufnahme geschieht in erster Linie unter anaeroben Bedingungen durch die vollständige Denitrifikation von Nitrat zu molekularem Stickstoff (N₂). Die N₂O-Bildung ist ein obligatorischer Schritt bei der Reduktion von Nitrat zu N₂.

Der grösste Teil der N₂O-Emissionen tritt innerhalb kurzer Zeit nach auslösenden Ereignissen wie Regen auf. Es ist deshalb entscheidend, dass kontinuierliche und automatisierte Messungen durchgeführt werden. Eine elegante mikrometeorologische Flussbestimmung wie beim CO₂ wäre auch für dieses Gas mittels optischer Sensoren möglich, die

Abb. 4. Verlauf des kumulierten CO₂-Austausches (NEE) zusammen mit der Lufttemperatur (Tair) zwei Meter über Boden und des Bodenwassergehaltes (SWC) in 30 cm Tiefe während der ganzen Messperiode. Der kumulierte Netto-Austausch wird immer von Anfang des Jahres auf Null gesetzt.

Abb. 5. Mähen des ersten Schnittes der extensiven Wiese: links der Balkenmäher für die Subplots, rechts der Kreiselmäher. (Foto: Albrecht Nefel, Agroscope FAL Reckenholz)



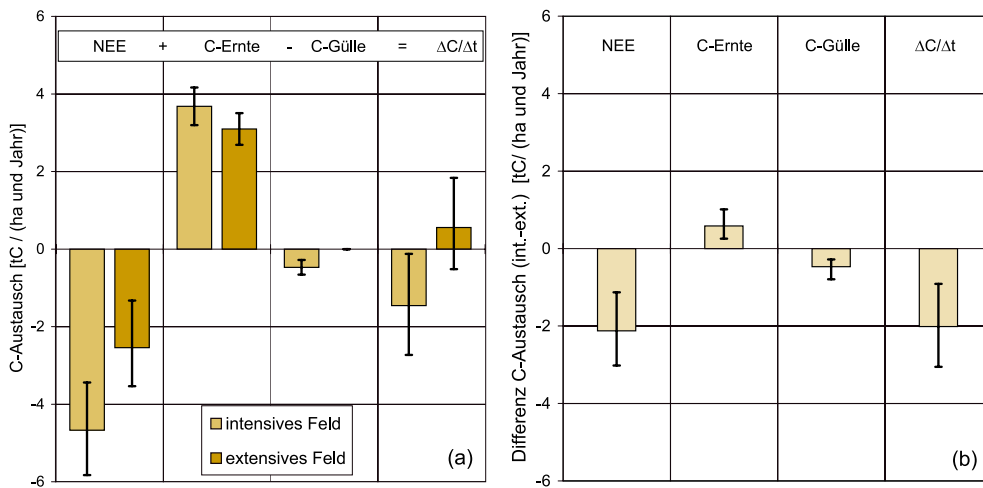


Abb. 6. 3-Jahres-Mittelwert des Kohlenstoffbudgets der beiden Felder mit CO₂-Austausch (NEE), Ernte Export, Gülle-Import und die resultierende C-Bilanz (ΔC/Δt): (a) absolute Werte der beiden Felder; (b) Differenz zwischen intensiver und extensiver Bewirtschaftung.

hohen Kosten und die mangelnde experimentelle Zuverlässigkeit verhinderten aber bis heute deren Einsatz. Die Flussbestimmungen von N₂O werden in unserem Projekt mittels automatisierter statischer Kammern durchgeführt. Die Kammern wurden in Zusammenarbeit mit der Abteilung Klima- und Umweltphysik des Physikalischen Instituts der Universität Bern entwickelt und hergestellt. Als Gasanalysator verwendeten wir ein photoakustisches Messgerät, welches feldtauglich ist, jedoch eine limitierte Genauigkeit aufweist. Die Nachweisgrenze liegt bei 20 Nanogramm Lachgas pro Quadratmeter und Sekunde.

Die Daten zeigen deutlich, dass die Emissionen durch das Zusammenspiel der Verfügbarkeit von Stickstoff und Wasser geprägt sind. Wird mineralischer Dünger in Form von Granulat auf einen trockenen Boden ausgebracht, kommt es erst

zu einer N₂O-Produktion, wenn genügend Wasser vorhanden ist, damit der Dünger aufgelöst und zu den aktiven Mikroorganismen gebracht wird. Diese stehen dann bei der Verwertung von anorganischem Stickstoff mit den Pflanzen in Konkurrenz. So kommt es typischerweise zu kurzen und heftigen Emissionen.

Im Hinblick auf die Verwendung der Messungen für Emissionsinventare werden Emissionsfaktoren berechnet. Sie drücken aus, welcher Prozentsatz der eingesetzten N-Düngermenge das System in Form von N₂O verlässt. Die in Oensingen bestimmten Emissionen liegen am unteren Rande der Werte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) der UNO (Flechard *et al.*, eingereicht)

Feldmessungen unter verschiedenen Bedingungen belegen, dass sehr viele Faktoren die N₂O-Emissionen beeinflussen, die eine zuverlässige Quantifizierung der Emissionen auf Grund einfacher Kenngrößen verunmöglicht. Es ist darum auch ein Ziel unserer Forschungsprojekte, das Verständnis der Austauschprozesse und deren Kontrolle durch die verschiedenen Umweltfaktoren für N₂O zu verbessern.

Die Treibhausgasbilanz

Auf der Feldskala beschränkt sich die Treibhausgas-Bilanz auf

die Jahresumsätze von CO₂ und N₂O. Für den Vergleich werden alle Flüsse als CO₂-Äquivalente ausgedrückt, das heisst die Strahlungswirksamkeit der Moleküle wird mitberücksichtigt. Die Verluste durch die N₂O-Emission, ausgedrückt als CO₂-Äquivalente, betragen rund 16 % des CO₂, das im Boden gebunden wurde. Wenn wir unseren Blickwinkel auf die Feldskala beschränken, bringt eine Umwandlung der Ackerrotation in Dauergrünland bei der intensiven Bewirtschaftung eine Netto-Sequestrierung von rund einer Tonne CO₂-Äquivalente pro Hektar und Jahr, bei extensiver Bewirtschaftung eine netto Emission von rund 0,5 t CO₂-Äquivalente pro Hektar und Jahr. Diese Zahlen dürfen jedoch nicht verallgemeinert werden. Wir gehen davon aus, dass die Rückführung von Stickstoff in Form von Gülle und Mist auf die extensiven Wiesen kombiniert mit dem Anbau von Leguminosen zu einem optimalen Resultat bezüglich der Treibhausgasbilanz führen würde.

Die nachgelagerten Treibhausgas-Emissionen, in erster Linie Methan der Nutztiere, sind quantitativ bedeutend und müssen für eine effektive Treibhausgas-Bilanz der landwirtschaftlichen Produktion mitberücksichtigt werden.

Die potenziellen Einsparungen an Treibhausgas-Emissionen bei einer Umwandlung von Ackerflächen in permanentes Grasland sind im Vergleich zu anderen anthropogenen CO₂-Emissionen verschwindend klein. Auf dem internationalen Emissionszertifikatsmarkt haben sie derzeit einen Börsenwert von etwa 15 Euro pro Hektare. Deshalb muss die Beurteilungsgrundlage für eventuelle Umnutzungsentscheide wesentlich weiter gefasst werden. Fossile Brennstoffe werden in Zukunft rarer und damit teurer, und deshalb steigt die Nachfrage nach alternativen, erneuerbaren

Tab. 2. N₂O-Emissionen und Emissionsfaktoren für die gedüngte Fläche

	Intensive Bewirtschaftung			Extensive Bewirtschaftung
	N ₂ O-Flüsse kg N / ha	Düngung kg N / ha	Emission Faktor %	Flüsse kg N / ha
2002	2,6	169,9	1,9	-0,1
2003	1,0	210,1	0,8	-0,5
2004	1,1	184,8	0,6	0,2
Total	4,7	564,8	1,1	-0,4

Energieträgern kontinuierlich. Graslandssysteme könnten als potenzielle Bioenergie-Lieferanten eine zunehmende Bedeutung gewinnen.

Prozessorientierte Modelle verbessern

Mit den Messungen in Oensingen wurde ein qualitativ hochwertiger Datensatz erhoben, welcher nun zur Überprüfung prozessorientierter Graslandmodelle von Forschungsgruppen europaweit gebraucht wird. Diese Modelle bilden das Pflanzenwachstum und die Austauschflüsse zwischen Biosphäre und Atmosphäre auf Grund fester, das Feld charakterisierender Grössen unter variablen Umweltbedingungen ab. Sie können verwendet werden, um lokal erhobene Messwerte auf ein grösseres geografisches Gebiet aufzukalieren, oder um den Einfluss der Klimaänderung auf einer Zeitskala von bis zu hundert Jahren abzuschätzen. Die Einmaligkeit des Datensatzes aus dem Oensingen-Experiment besteht einerseits in der Anzahl gemessener Variablen, andererseits im Umfang und der zeitlichen Auflösung der Messungen. Dank diesem Datensatz können nicht nur die mathematische Beschreibung einzelner Prozesse, sondern

auch deren Wechselwirkungen überprüft werden.

Kopplung von Stickstoff und Kohlenstoff

Feldforschung ist aufwändig und teuer und muss sich zwangsläufig auf bestimmte Ziele und Fragestellungen konzentrieren. Das Projekt CarboEurope IP (siehe Kasten) ist auf die Quantifizierung des europäischen Kohlenstoffhaushalts fokussiert. Der Kohlenstoffkreislauf ist aber eng an jenen des Stickstoffs gekoppelt. Es ist deshalb einleuchtend, dass mit NitroEurope IP ein ergänzendes Projekt geplant wird, dessen Herausforderungen schon durch die Vielzahl der N-Verbindungen wesentlich grösser sind. Die experimentellen Tätigkeiten werden sich denn auch auf je vier Schwerpunktstationen von Wald-, Acker- und Grasstandorten konzentrieren. Oensingen wurde als einer der vier europäischen Grasstandorte ausgewählt.

Literatur

■ Ammann C., Flechard C., Leifeld J., Neftel A. & Fuhrer J., 2005. The carbon budget of newly established grassland under two contrasting management regimes. Submitted to *Global Change Biology*.

■ BUWAL (2005a) Information zum Kyoto-Protokoll. Zugang: www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_klima/Int_Politik/Kyoto/ [24.05.2005].

■ BUWAL (2005b). Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2003. NIR-CH-2005-050414.doc.

■ Davidson E.A., 1991. Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from terrestrial ecosystems. In J.E. Rogers & W.B. Whitman (eds.): *Microbial production and consumption of greenhouse gases: methane, nitrogen oxide and halomethanes*. American Society for Microbiology, Washington DC., 219-235.

■ Gut A., Blatter A., Fahrni, M. Lehmann B.E., Neftel A. & Staffelbach T., 1998. A new membrane tube technique (METT) for continuous gas measurements in soils. *Plant and Soil* **198** (1), 79-87.

■ Flechard C., Neftel A., Jocher M., Ammann C. & Fuhrer J., 2005. Bi-directional soil/atmosphere N₂O exchange over two mown grassland systems with contrasting management practices, submitted to *Global Change Biology*.

■ Lehmann J., Rosenberg E. & Mosimann E., 2000. Standardmischungen für den Futterbau, Revision 2001-2004. *Agrarforschung* **7**(10), 1-12.

■ Leifeld J., Bassin S. & Fuhrer J., 2003. Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland, *Schriftenreihe der FAL* **44**, 120 S.

RÉSUMÉ

Sources et puits de gaz à effet de serre: le projet «Kyoto»

Le projet «Kyoto-Wiese» à Oensingen montre que la conversion de terre arable en prairie intensive conduit à une augmentation de 1,5 tonne par hectare et par an de la teneur en carbone du sol au cas où un amendement azoté approprié est utilisé. Cette quantité correspond à la consommation annuelle d'essence d'une automobile. Sur la prairie intensive, 16 % des émissions de CO₂ ainsi évitées sont compensées par des émissions de gaz hilarant (N₂O). La prairie extensive a un rendement similaire à la prairie intensive, mais elle perd environ 0,5 tonne de CO₂-C par hectare et par an et ses émissions de N₂O sont insignifiantes. Le système extensif approche un nouvel équilibre avec probablement une teneur réduite en matière organique dans le sol. La gestion des prairies a par conséquent une influence déterminante sur le bilan en gaz à effet de serre à l'échelle du champ.

SUMMARY

Greenhouse gas budgets of grassland systems

The field experiment «Kyoto-Wiese» in Oensingen (CH) shows that the conversion of arable land to intensively managed permanent grassland leads to an increase in the soil C-content of around 1,5 tons per hectare and year, provided that a sufficient amount of N-fertilizer is applied. This sequestration of carbon corresponds roughly to the yearly emission from gasoline of a passenger car. On the intensively managed field, 16 % of the saved CO₂ emissions are compensated by emissions of nitrous oxide (N₂O). The extensively managed field shows a similar yield as the intensive plot, but an annual release of CO₂-C of around 0,5 tons per hectare with only minor N₂O emissions. The reason for this difference is most likely a high rate of mineralization of soil organic matter. The extensively managed system approaches a new equilibrium with most likely a reduced soil organic matter content. Therefore, at the field scale management has a major influence on the greenhouse gas budget of grasslands.

Key words: grassland, greenhouse gases, C-sequestration