

Beitrag der Landwirtschaft zur Emission klimarelevanter Spurengase - Möglichkeiten zur Reduktion?

HEINZ-JÜRGEN AHLGRIMM

Institut für Technologie

1 Einführung

Im Jahr der Vertragsstaatenkonferenz von Berlin als Nachfolge des ersten Welt-Klima-Gipfels von Rio 1992 besteht wieder einmal Anlaß, über die anthropogene Beeinflussung des Klimas durch die vielfältigen Aktivitäten des Menschen nachzudenken und zu sprechen, obgleich massive Maßnahmen viel angebrachter wären. Die Notwendigkeit dafür besteht in nahezu allen Bereichen.

So wie zahlreiche andere Wirtschaftszweige stellt auch die Landwirtschaft eine bedeutende Quelle für treibhausrelevante und ozondestabilisierende Spurengase dar. Im Gegensatz dazu kann sie jedoch auch oftmals als Senke wirken.

Ihre wichtige Aufgabe, eine ständig wachsende Weltbevölkerung mit Nahrungsmitteln versorgen zu müssen, läßt auch die davon ausgehenden Beeinträchtigungen für die Umwelt ansteigen. Ein gutes Beispiel dafür ist der globale Anstieg der atmosphärischen Methankonzentration, deren zeitlicher Anstieg dem der Weltbevölkerung sehr stark ähnelt.

Aber auch die Belastung der Atmosphäre mit Kohlendioxid (CO_2) und Stickstoffoxiden wie NO_x und N_2O nimmt ständig zu, wozu die Landwirtschaft ebenfalls ihre Beiträge leistet.

In diesem Beitrag soll versucht werden, einen Überblick darüber zu geben, welchen Anteil die Landwirtschaft nach derzeitiger Kenntnis global wie auch national auf die Emission klimarelevanter Gase ausübt. Ferner wird der Versuch unternommen, Möglichkeiten für die Reduktion solcher Emissionen aufzuzeigen bzw. zu diskutieren.

Dabei sollte jedoch bedacht werden, daß es allein im Bereich der Quellen und Senken von Spurengasen große Lücken und Datenunsicherheiten gibt. Angaben darüber schwanken noch sehr stark. Noch viel weniger gibt es realistische Aussagen über Reduktionsmöglichkeiten. Es werden hierfür auch zumeist keine Zahlen genannt. Gibt es aber Angaben dafür, so sind diese häufig rein spekulativ und hypothetisch und unter praktischen Gesichtspunkten wohl kaum realisierbar. Entsprechende Reduktionsmaßnahmen müssen nämlich berücksichtigen, daß eine steigende Weltbevölkerung ernährt werden muß und daß durch diese Maßnahmen nicht andere negative oder unkalkulierbare ökologische und/oder ökonomische Folgen auftreten können. Hier scheint sich auch noch ein immenser Forschungsbedarf aufzutun.

Dennoch gibt es Möglichkeiten, z. B. über einen Abbau der Überschussproduktion, über die Reduktion des Düngereinsatzes, die Reduktion von Tierzahlen usw. zu einer umweltverträglicheren Landwirtschaft zu kommen.

Da es in den letzten beiden Jahren kaum neue Daten über Senken und Quellen klimarelevanter Spurengase gegeben hat - denn neue Daten vom IPCC sind vermutlich erst gegen Ende dieses Jahres zu erwarten (Schönwiese 1995) - gelten als gültige Quellen- und Senkenstärken Angaben aus dem Jahr 1994 (Ahlgrimm und Dämmgen). Diese sind weitgehend identisch mit denen des Nationalen Berichts der Bundesregierung (BMU 1993) und mit dem Bericht der Enquete-Kommission (Enquete 1994).

2 Der Beitrag der Landwirtschaft an den Spurengasemissionen und am Treibhauseffekt auf globaler und nationaler Ebene

Anhand der Übersicht (Tabelle 1) über die anthropogenen Spurengasemissionen und mit dem jeweiligen Beitrag zum Treibhauseffekt sollen zunächst die wesentlichen Aktivitäten der Landwirtschaft mit Wirkung für die Emission klimarelevanter Gase behandelt werden, bevor auf mögliche Reduktionsmaßnahmen eingegangen wird.

Neben den gesamten anthropogenen Emissionen (Spalte 1) sind die hauptsächlichen Quellen durch landwirtschaftliche Aktivitäten auf globaler Ebene in Spalte 3 dargestellt, während Spalte 5 die der deutschen Landwirtschaft enthält. Mit Hilfe des auf die Masseneinheit und auf einen Zeithorizont von 100 Jahren bezogenen Treibhausfaktors (Spalte 2) wurden die globalen und nationalen Treibhausanteile der einzelnen Gase für die Landwirtschaft ermittelt (Spalten 4 und 6).

Da ein Großteil der Emissionen aus der Tropenwaldvernichtung (Biomasseverbrennung) und von Savannenbränden für Landnutzungsänderungen ebenfalls der Landwirtschaft zugeschrieben werden muß, trägt die Landwirtschaft insgesamt mit über 30 % zum globalen Treibhauseffekt bei. Bei dieser Betrachtungsweise ist Kohlendioxid mit über 50 % aus der Landwirtschaft (1. Teilspalte von Spalte 4) am zusätzlichen Treibhauseffekt beteiligt, das sind dann immerhin ca. 22 % der anthropogenen CO_2 -Emissionen. Der Anteil des Methans und der anderen Spurengase fällt dementsprechend geringer aus.

Ohne diese Quelle (Tropenwaldvernichtung) verschiebt sich jedoch der gasspezifische Treibhausanteil durch die Landwirtschaft zum Methan (65 % der anthropogenen Methanemissionen und nahezu 50 % des Treibhauspotentials) und zu N_2O , gemäß dem 2. Wert von Spalte 4.

Im nationalen Rahmen fehlen für die indirekt wirksamen Treibhausgase NO_x und CO Daten zu den Emissionen aus der Landwirtschaft. Zur Ermittlung der gasspezifischen Treibhaus-

Quellen gesamte anthropog. Emissionen [Mio. t/a]	Treibhausfaktor auf Masse bezog. und CO ₂ =1, Zeithorizont: 100 a	Emissionen landw. Quellen global [Mio. t/a]	Treibhausanteil landw. Quellen bez. auf Gase, global [%]	Emissionen landw. Quellen national [Mio. t/a]	Treibhausanteil landw. Quellen bez. auf Gase, national [%]
CO ₂ : 29000 Trp.Wld.-V./Bmsverbr. ¹⁾ : Fossiles CO ₂ (Maschinen, Dünger):	1	5900 300	52 ²⁾ 6,5 ³⁾	38,4	46
CH ₄ : 350 Trp.Wld.-V./Bmsverbr. ¹⁾ : Reisfelder: Rinderhaltung: Tier.Exkrememente:	11	30 60 100 35	21 ²⁾ 47 ³⁾	1,4 0,8	30
N ₂ O: 6,7 Trp.Wld.-V./Bmsverbr. ¹⁾ : N-Mineraldünger/Böden: Wirtschaftsdünger/Böden: Rekultivierung:	270	1 2 2 0,4	12 ²⁾ 26 ³⁾	0,075 ⁴⁾	24
NO _x : 31 Trp.Wld.-V./Bmsverbr. ¹⁾ : N-Mineraldünger: Wirtschaftsdünger:	40	7 2 2	4 ²⁾ 3,5 ³⁾		
CO: 1540 Trp.Wld.-V./Bmsverbr. ¹⁾ : Methanoxidation:	2	300 394	11 ²⁾ 17 ³⁾		
NH ₃ : (54)		ca. 40		ca.0,7	

1) Tropenwaldvernichtung (Landnutzungsänderungen und Biomasseverbrennung) 2) einschließlich Tropenwaldvernichtung und Biomasseverbrennung
3) ohne Tropenwaldvernichtung und Biomasseverbrennung 4) N-Mineraldünger und Wirtschaftsdünger zusammen

Tabelle 1: Landwirtschaftliche Spurengasquellen und die Treibhauspotentiale global und national

anteile wurden daher nur Distickstoffmonoxid (N₂O), Methan (CH₄) und Kohlendioxid herangezogen. Hier liegt - etwas überraschend - das Kohlendioxid mit 46 % an erster Stelle, weil aus nationalen Quellen immerhin über 38 Mio. t CO₂/a emittiert werden, das sind aber nur ca. 3,6 % der gesamten anthropogenen Kohlendioxidemissionen von Deutschland.

3 Der Beitrag der einzelnen Gase

3.1 Kohlendioxid (CO₂)

Kohlendioxid ist am stärksten am zusätzlichen (=anthropogenen) Treibhauseffekt beteiligt. Dennoch machen die in Tabelle 1 genannten 29 Mrd. t/a (entsprechend 7,9 Mrd t C/a) nur etwa 4 % der globalen C-Flüsse in die Atmosphäre aus (Schönwiese et al. 1990). Und nur dieser (relativ geringe) Beitrag bringt die atmosphärische CO₂-Konzentration aus dem Gleichgewicht, da ein Teil davon nicht völlig durch Photosynthese (Pflanzen, Algen) und Austausch zwischen den Reservoiren wieder ausgeglichen werden kann: So haben sich im Mittel für die letzten 20 Jahre jährlich 2,9 G(=Mrd.) t C in der Atmosphäre akkumuliert, während der Ozean 2,1 Gt und die Biosphäre zwischen 0,8 und 2,49 Gt C des anthropogenen C-Flusses jährlich aufgenommen haben sollen (Quay et al. 1992). Nach neuerer Kenntnis sollen die borealen Wälder der Nordhemisphäre der Erde eine CO₂-Senke für 2-3 Gt C darstellen (Enquete 1992).

Der Beitrag der Landwirtschaft zu diesem Emissionsniveau der CO₂-Konzentration aus der direkten und indirekten Nutzung fossiler Energieträger ist jedoch sehr gering: Ihr Anteil beträgt für die Bundesrepublik Deutschland einschließlich

der Mineraldüngerherzeugung ca. 38,4 Mio. t CO₂ (Tabelle 2) oder ca. 3,6 % der gesamten, aus der Nutzung von fossilen Energieträgern stammenden Menge (in Ahlgrimm u. Dämmgen 1994 nach Smukalski et al. 1992). Man kann wohl unterstellen, daß dies für andere industrialisierte Länder auch in einer ähnlichen Größenordnung liegt, für Entwicklungsländer aber bedeutend niedriger sein dürfte. Nimmt man für den letzten Bereich nur etwa 1 % der jeweiligen gesamten CO₂-Emissionen an, könnte sich der globale Anteil aus dieser Quelle auf ca. 300 Mio. t Kohlendioxid/a belaufen (Tabelle 1). Viel gravierender ist jedoch der C-Fluß in die Atmosphäre durch Biomasseverbrennung (Brandrodung von Tropenwäldern, Abbrennen von Savannen und Grasland für Landnut-

	alte BL (1988)	gesamte BR (1991)
Treibstoff	5,9	9,0
Heizöl	5,0	7,6
el. Strom	5,5	8,4
Handelsdünger	8,8	13,4
Summe	25,2	38,4

Tabelle 2: Anteil der Landwirtschaft in Deutschland an der CO₂-Freisetzung durch den direkten und indirekten Einsatz fossiler Energieträger (Angaben für die alten Bundesländer in Mio. t/a nach Schoedder 1990; Werte für die gesamte Bundesrepublik nach dem Verfahren von Schoedder von Smukalski et al. 1992)

zungsänderungen), die zu über 70 % der Landwirtschaft (Enquete 1994) zugeordnet werden muß. Für die Netto-CO₂-Freisetzung hieraus werden 1,6 ± 1 Gt C/a (Enquete 1992 und 1994) pro Jahr genannt.

Nach Houghton (1991) gehen dabei über 40 % der CO₂-Emissionen auf den zeitlich verzögerten Abbau der durch Brandrodung betroffenen oberirdischen Biomasse zurück, während 13 % durch mikrobiellen Humusabbau und der Rest durch Verbrennung und Verrottung freigesetzt wird.

Durch Landnutzungsänderungen wie Waldrodung, Kultivierung von Mooren u.a. war die Landwirtschaft in dem Zeitraum zwischen 1860 und 1980 kumulativ zu 50 % an der anthropogenen CO₂-Freisetzung beteiligt (Enquete 1992, Isermann 1992). Inzwischen überwiegt hinsichtlich der CO₂-Emissionen eindeutig die Nutzung fossiler Energieträger.

Die Tropenwaldvernichtung erfolgt gegenwärtig im großen Maßstab in Südamerika und Südostasien, wo insbesondere Brasilien und Indonesien zu nennen sind. Diese Fläche umfaßt für 1989 ca. 144000 km²/a mit einer jährlichen Steigerungsrate von 1,8 %. Die Rate der Gesamtentwaldung für 1989 betrug ca. 169000 km²/a (Enquete 1992). Trotz der - zumindest für 1989 - wenig gesicherten Aussage über den Grad der Tropenwaldzerstörung folgt jedoch daraus, daß diese zwischen 1980 und 1989 stark zugenommen hat und daß manche Länder bei anhaltendem Trend bald über keinen geschlossenen Tropenwald mehr verfügen.

3.2 Methan (CH₄)

Methan stellt ein bedeutendes, sowohl direkt wie auch indirekt treibhauswirksames Spurengas dar. Es hat Einfluß auf Ozonhaushalt in Tropo- und Stratosphäre, Einfluß auf den Wasserdampfhaushalt der Stratosphäre und auf die troposphärische OH- und CO-Konzentration.

Der gegenwärtige Schätzwert für die globalen Methanemissionen wird mit insgesamt ca. 500 Mio. t/a angegeben, obgleich einige Quellenangaben noch sehr unsicher sind und möglicherweise noch weitere unbekannte Quellen (vielleicht auch aus landwirtschaftlicher Sicht) existieren. Da die gesamte Senkenstärke etwas kleiner als die Quellenstärke ist, reichert es sich in der Atmosphäre gegenwärtig mit einer Zunahme von 0,7 %/a (Sanhueza 1991, Enquete 1992) an; vor einigen Jahren waren es noch mehr als 1 %/a. Nähere Einzelheiten zum Vorkommen sowie zur zeitlichen und globalen Verteilung von Methan finden sich in Ahlgrim und Dämmgen (1994) sowie Ahlgrim und Gädeken (1990).

Abgesehen von starken natürlichen Quellen für Methan wie Feuchtgebiete, Moore, Sümpfe, seichte Seen, Tundren und zeitweise überschwemmte Regionen stellen landwirtschaftliche Aktivitäten den überwiegenden Anteil (Tabelle 1) der anthropogenen CH₄-Emissionen dar.

Eine Aufteilung der Methanemissionen auf verschiedene Bereiche zeigt Abbildung 1 links. Auf die Landwirtschaft allein entfallen danach weltweit mehr als 40% der gesamten und mehr als 60 % der anthropogenen Emissionen (Tabelle 1). Die genauere Aufteilung auf einzelne Quellen in der Land-

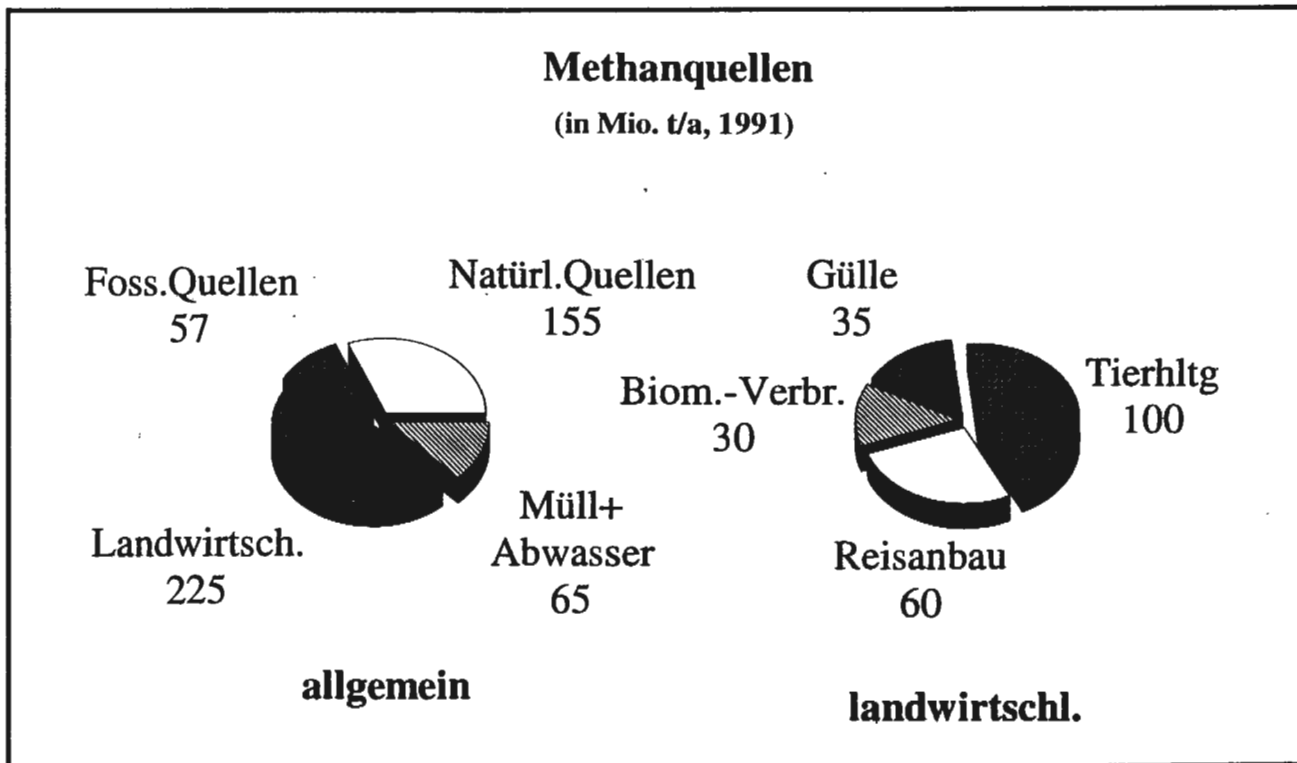


Abbildung 1: Globale Methanquellen allgemein (links) und landwirtschaftliche Methanquellen (unterschiedliche Literaturquellen; Stand: Ende 1991)

wirtschaft zeigt der rechte Teil von Abbildung 1 (vergleiche auch Tabelle 1).

Im Vergleich zu älteren Daten sind in jüngster Zeit für die Biomasseverbrennung (das sind überwiegend Tropenwaldvernichtung und Savannenbrände) und für den Reisanbau erheblich geringere Emissionswerte mit 30 bzw. 60 Mio. t/a genannt worden. Damit ist vorerst der Anteil landwirtschaftlicher Methanquellen gegenüber früher leicht gesunken. Die größte landwirtschaftliche Quelle stellt demnach nun die Haltung von Wiederkäuern mit 65-100 Mio. t CH₄/a dar.

Durch eine sehr sorgfältig durchgeführte Analyse wurde der obere Wert als Schätzwert bestätigt (Ahlgrimm und Gädeken 1990). Für Deutschland ergeben sich für diese Quelle ca. 1,4 Mio. t CH₄/a (Basis 1990) mit einer, durch den drastischen Abbau von Rinderbeständen in den Neuen Bundesländern abgeschätzten Rückgang auf ca. 1,2 Mio. t/a (Enquete 1994).

Exkrememente aus der Tierhaltung emittieren ebenfalls beträchtliche Methanmengen, wofür gegenwärtig zwischen 14 (Gibbs und Woodbury 1993) und 37 Mio. t/a (IPCC 1990) global genannt werden. Infolge beträchtlicher Unsicherheiten bei der Datenermittlung ist die Schwankungsbreite jedoch noch sehr hoch. Für die neue Bundesrepublik dürfte diese Quelle zwischen 0,6 (UBA 1993) bis 1 Mio t CH₄/a emittieren. Ahlgrimm und Dämmgen (1994) gehen von einem etwas höheren Wert (0,8 Mio. t/a) aus.

In den globalen Methanstatistiken werden Methanemissionen aus der Behandlung und Lagerung organischer Rest- und Abfallstoffe aus der agrarindustriellen Produktion bisher nicht

genannt. Hier könnte weltweit noch ein beträchtliches Potential für Methanemissionen liegen.

Als stärkste Senke für Methan wirkt die troposphärische CH₄-Oxidation (zu CO₂ über die Zwischenstufe CO und zu H₂O) über OH-Radikale mit über 70 %, während im Boden und über den stratosphärischen ClO_x-Zyklus weit geringere Methanmengen abgebaut werden.

3.3 Distickstoffmonoxid (Lachgas, N₂O)

N₂O gilt sowohl als direkt wie auch als indirekt wirksames (Ozonzerstörung in der Stratosphäre!) Treibhausgas. Es verhält sich in der Troposphäre chemisch inert und wird erst in der Stratosphäre über reaktive Stickstoffoxide abgebaut. Deshalb und wegen seiner Langlebigkeit ist es trotz der geringen Mengen als mindestens ebenso gefährlich einzustufen wie die FCKWs.

Ein großer Teil der N₂O-Emissionen ist gemäß Abbildung 2 auf natürliche Quellen wie Ozeane, Seen und natürliche Böden (aus Nitrifikations- und Denitrifikationsvorgängen) zurückzuführen, vom Menschen also gar nicht beeinflussbar. Über 40 % stammen aus dem Boden, insbesondere im Bereich der Tropen (Bouwmann 1991).

Mit über 35 % trägt die Landwirtschaft zu den N₂O-Emissionen bei, wenn man die Verbrennung von Biomasse dazurechnet (Isermann 1992). Ihr Anteil an den anthropogenen Emissionen beträgt sogar 81 % unter Einschluß der Biomasseverbrennung.

Die Quellen- und Senkenangaben von N₂O sind jedoch noch sehr unsicher, die Streuung der Emissionen aus land-

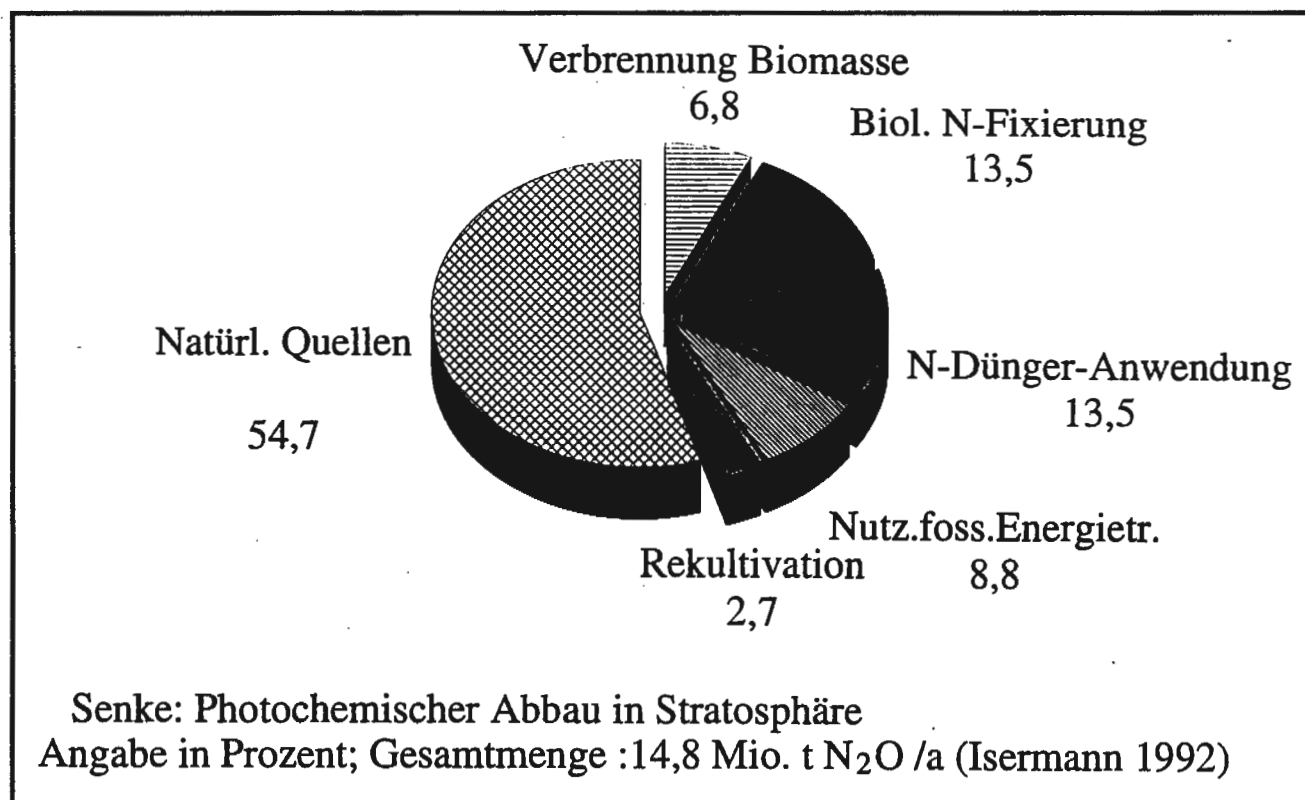


Abbildung 2: Globale Quellen und Senken von N₂O. Angaben in Prozent (nach Isermann 1992)

	Alte Bundesländer [kg N/ha LN]	Neue Bundesländer [kg N/ha LN]
Mineraldüngung	137	132
biotische N-Fixierung	30	30
Wirtschaftsdüngung	83	61
Deposition	30	30
Zufuhr	280	253
Entzug durch Pflanzen	145	133
Überschuß	135	120

Tabelle 3: Versuch einer N-Bilanzierung (nach Enquete 1994)

wirtschaftlichen Quellen (insbesondere aus Böden) sind sowohl zeitlich wie auch örtlich noch sehr groß. Manche Quellen sind möglicherweise noch gar nicht erkannt (Haider und Heinemeyer 1990, Sanhueza 1991, Isermann 1992, Enquete 1992). Dies kann man aus der Differenz zwischen Senken- und Quellenstärken ableiten, wofür man zwischen 8 und 19 Mt/a annimmt (Isermann 1992).

Die für die deutsche Landwirtschaft angegebenen 75 kt/a, davon ca. 65 kt aus Böden und 11 kt/a aus tierischen Exkrementen (UBA 1993 sowie Ahlgrim u. Dämmgen 1994) sind ebenfalls als sehr fraglich anzusehen. Nach neueren Erkenntnissen könnten auch Festmist und Kompost bedeutende Quellen für N₂O sein (Ahlgrim et al. 1995).

Die N₂O-Emissionen steigen gegenwärtig weltweit mit 0,25 %/a an, etwa so wie auch der Mineraldüngerverbrauch zunimmt, der für das Jahr 1990 auf 80 Mio. t pro Jahr beziffert wird. Die Intensität des Einsatzes ist jedoch regional sehr verschieden: So betragen die durchschnittlichen Aufwandmengen z.B. für Afrika 11, für Lateinamerika 21, für die EU 125 und für die Niederlande 467 kg/ha*a (Enquete 1994). Für Deutschland werden 2,4 Mio. t (entsprechend ca. 130 kg/ha) Mineraldünger pro Jahr ausgebracht mit leicht fallender Tendenz.

In Tabelle 3 wird der Versuch für eine N-Bilanz für Deutschland nach alten und neuen Bundesländern getrennt unternommen: Hiemach ist der gesamte Stickstoffeintrag (durch Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, über biotische N-Fixierung sowie über N-Deposition aus der Luft) im Mittel nahe doppelt so hoch wie der eigentliche Bedarf.

Der N-Überschuß muß als Verlust betrachtet werden. Nach Kuntze 1991 (in Enquete 1994) gehen dabei von 120 kg N/ha*a ca. 25 kg/ha*a durch Denitrifikation (als N₂) verloren, 50 kg/ha*a über Nitrat auswaschung ins Grundwasser und 44 kg/ha*a über Ammoniakausgasung in die Atmosphäre.

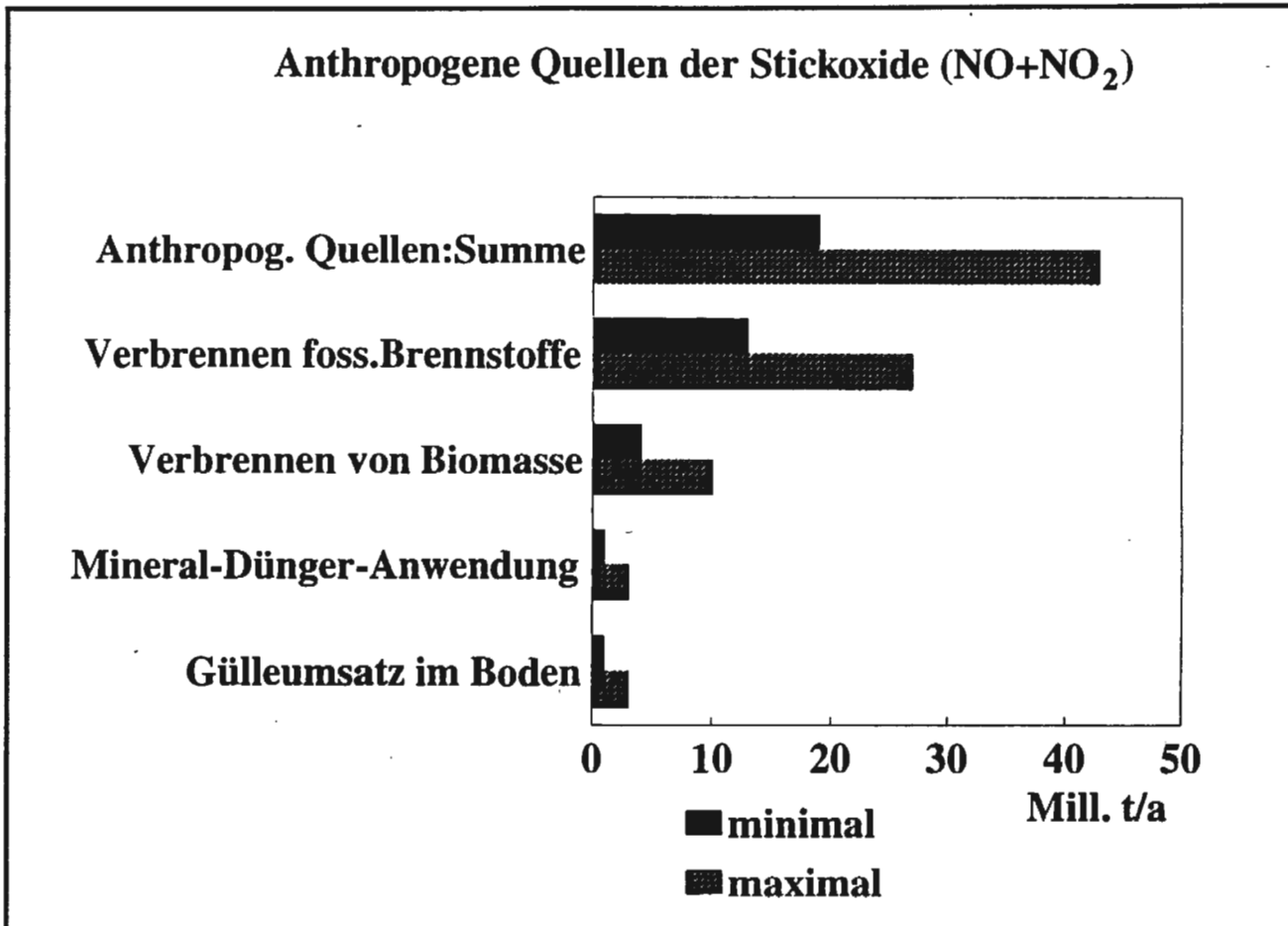


Abbildung 3a: Anthropogene Quellen für die Stickoxide NO_x, (global; 31±12 Mio. t/a; nach Enquete 1991)

N₂O kann sowohl bei der Nitrifikation wie auch durch Denitrifikation stickstoffhaltiger Düngemittel (auch Wirtschaftsdünger wie Gülle können große N-Mengen enthalten) gebildet werden. Deshalb liefert auch die Anwendung ammoniumhaltiger Dünger mehr N₂O als Dünger auf Nitratbasis (Enquete 1994), wo nur noch Denitrifikation auftreten kann.

Es wird angenommen, daß zwischen 0,4 bis 3,2 % des in den Boden eingebrachten Stickstoffs als N₂O-N bei Nitrifikations- und Denitrifikationsvorgängen emittiert werden. Bei einem vorsichtig geschätzten N-Eintrag in Deutschland von im Mittel 200 kg N-Dünger pro Hektar und Jahr würde das zwischen rund 14.000 und 108.000 t N₂O-N liefern (Enquete 1994). Das wäre im Extremfall weit mehr als oben und in Tabelle 1 für Deutschland angegeben ist. Über eine Verfrachtung von N-Verbindungen infolge menschlicher Aktivitäten (Landwirtschaft) können aus seichten Gewässern, Flußmündungen usw. erhebliche Beiträge zu den Distickstoffmonoxidemissionen geleistet werden (Isermann 1992, Andrae 1991), die möglicherweise noch helfen können, die Lücke zwischen Quellen und Senken zu schließen.

Nur knapp 10 % der globalen N₂O-Menge werden bei der Nutzung fossiler Energiequellen freigesetzt. Dieser Anteil wurde offenbar bisher überschätzt (Enquete 1992), obgleich mit dem Dreiwegekatalysator ausgerüstete Kraftfahrzeuge mehr N₂O emittieren als unregulierte Fahrzeuge (Santana 1991).

Die Hauptsenke für N₂O stellt der photochemische Abbau in der Stratosphäre dar. Ob auch der Boden als Senke dienen kann, ist bis heute noch nicht restlos geklärt.

3.4 Indirekt wirksame Treibhausgase

3.4.1 Stickstoffoxide NO und NO₂

Die beiden Stickstoffoxide NO und NO₂ (zusammen als NO_x bezeichnet) gelten als indirekt treibhauswirksame Spurengase und stellen sehr reaktive Verbindungen dar, die insbesondere den Ozonhaushalt der Troposphäre wesentlich beeinflussen und dabei katalytisch wirken. NO₂ bildet sich schnell in verschmutzten Atmosphären über die Oxidation von NO (Ahlgriem und Dämmgen 1994).

Wegen ihrer hohen Reaktivität ist die Verweilzeit in der Atmosphäre nur sehr kurz (ca. 1 Tag in der Troposphäre), und deshalb schwankt die Konzentration räumlich wie auch zeitlich sehr stark.

Ebenfalls noch sehr unsichere Abschätzungen beziffern die globalen NO_x-Emissionen auf insgesamt ca. 50 Mio. t N pro Jahr. Etwa 60 % davon sollen aus anthropogenen Quellen stammen wie aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe; aus dem Straßen- und Luftverkehr (Abbildung 3a). Die Landwirtschaft ist ebenso wiederum erheblich an den Emissionen beteiligt: Die mikrobielle Umsetzung von Harnstoff (Gülleausbringung auf die Felder) und mineralischer Dünger im Boden sollen mit jeweils ca. 2 Mio. t/a hierzu beitragen (Tabelle 1). Bei der Verbrennung von Biomasse (Savannenbrände, Tro-

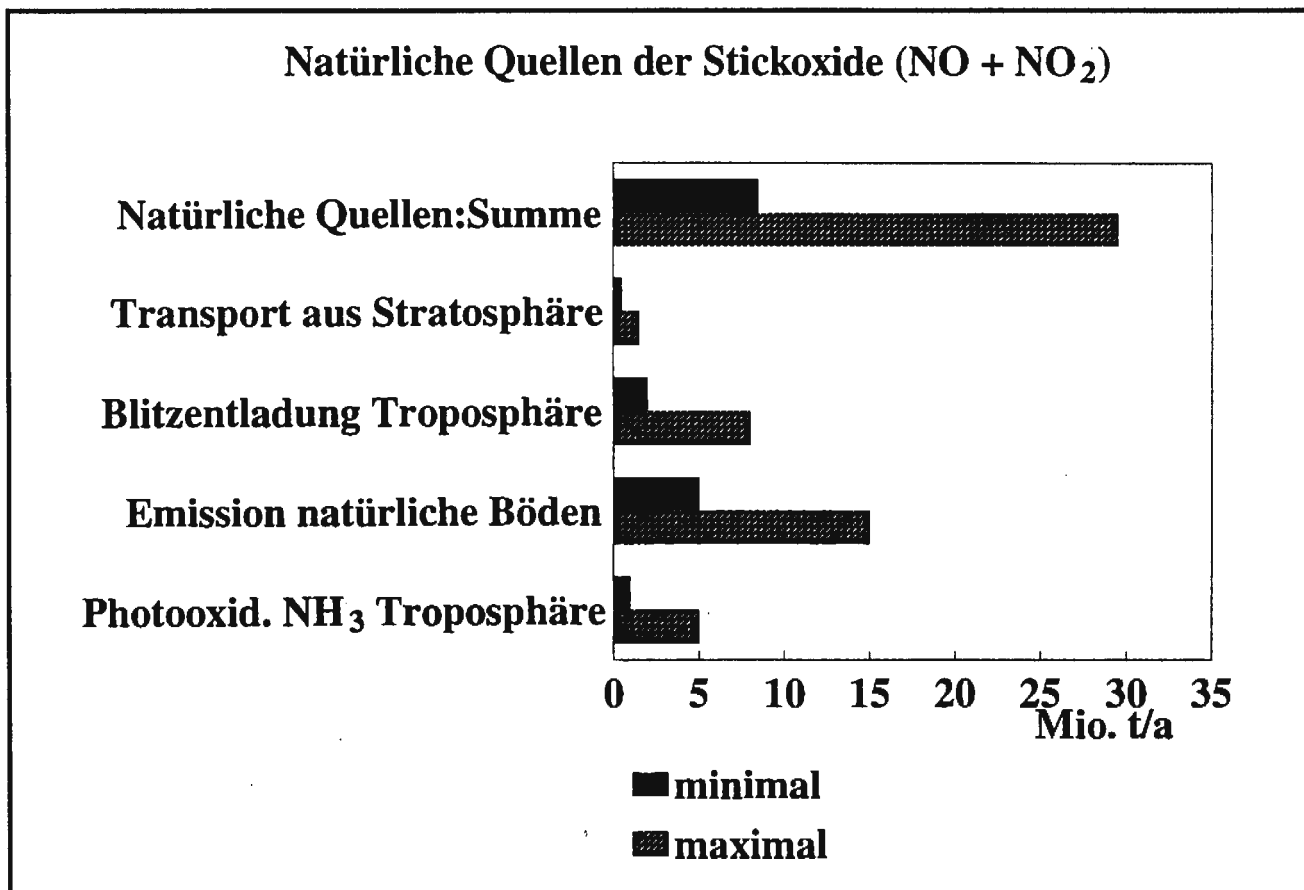


Abbildung 3b: Natürliche Quellen für die Stickoxide NO_x (global; 19±10,5 Mio. t/a; nach Enquete 1991)

Dünger	Trocken- substanz [%]	Gesamt-N- [kg/t]	NH ₄ - Stickstoff [kg/t]	NH ₄ -N [%]	P ₂ O ₅ [kg/t]	K ₂ O [kg/t]
Festmist Rind	25	5	0,5	10	3,0	6
Festmist Schwein	23	6	0,6	10	5,0	3
Gülle Rind	10	4	2,0	50	2,0	6
Gülle Schwein	7,5	4,5	3,1	70	4,5	3
Jauche	3	3,0	3,0	100	1,0	7

Tabelle 4: **Mittlere Nährstoffgehalte und Nährstoffformen organischer Dünger (Enquete 1994, nach AID-Angaben 1992)**

penwaldrodung, Nutzung von Brennholz) werden auch erhebliche Mengen freigesetzt, die größtenteils der Landwirtschaft zugerechnet werden müssen.

Damit beträgt der landwirtschaftliche Anteil an den gesamten NO_x-Emissionen um die 20 %, und diese machen sogar 35 % der anthropogenen Emissionen aus. Für den nationalen Bereich gibt es bisher überhaupt keine NO_x-Daten aus der Landwirtschaft.

Als natürliche Quellen von NO_x gelten die Nitrifikation und Denitrifikation in Böden, die Blitzentladung in Gewittern und die Photooxidation von Ammoniak in der Troposphäre (Abbildung 3b).

Als Hauptsenken des troposphärischen NO_x sind seine photochemische Oxidation zu Salpetersäure und die Auswaschung durch den (sauren) Regen sowie die trockene Deposition von NO₂ und Salpetersäure auf Pflanzenoberflächen zu nennen (Enquete 1991).

3.4.2 Ammoniak (NH₃)

Ammoniak stellt ein stark infrarotaktives Gas dar, ist jedoch wegen seiner kurzen atmosphärischen Aufenthaltsdauer von wenigen Tagen nur wenig treibhauswirksam. Da jedoch ca. 10 % (Crutzen in Bouwman 1989) atmosphärisch über OH-Radikale zu NO_x abgebaut bzw. über elektrische Entladungen in der Atmosphäre zu NO_x oxidiert werden, hat NH₃ für die troposphärische OH-Konzentration und den Ozonhaushalt eine gewisse Bedeutung (indirekt treibhauswirksam). Darüber hinaus kann bei der Nitrifikation auch N₂O gebildet werden. NH₃ trägt indirekt wesentlich (über photochemische Oxidation zu NO_x und dessen Auswaschung aus der Atmosphäre) zur Versauerung von Böden und zum Waldsterben bei (Enquete 1994).

Angaben über globale Emissionen sind ebenfalls noch sehr unsicher: Die Schwankungsbreite bewegt sich zwischen 1200 Mio. t/a (zitiert in Ahlgrimm und Dämmgen 1994) sowie 28 und 45 Mio. t/a (Enquete 1994). Tabelle 1 weist einen Wert von 54 Mio. t/a (nach Warneck in Isermann 1992) aus, davon allein 47 Mio. t/a aus der Landwirtschaft. Die größte anthropogene Quelle stellt darin die Tierhaltung (32 Mio. t/a, davon 2/3 aus der Rinderhaltung) dar. Das NH₃ entweicht fast ausschließlich aus den Exkrementen, im wesentlichen im Stallbereich, während der Lagerung und Güllebehandlung sowie bei der Ausbringung. Dies ist in besonde-

rem Maße für Gülle und Jauche der Fall, da hierin die höchsten Ammoniumkonzentrationen enthalten sind (Tabelle 4).

Mit der Rationalisierung und Intensivierung der Tierhaltung über den verstärkten Einsatz von Flüssigmist-

systemen stiegen die NH₃-Emissionen (und auch die von CH₄) stark an. Für Gesamtdeutschland betragen die NH₃-Emissionen aus der Landwirtschaft 743 kt/a (Isermann 1992). Diese sind jedoch infolge der Abnahme von Tierzahlen in jüngster Zeit für Deutschland leicht rückläufig (Enquete 1994).

Mit der Löslichkeit der Stickstoffverbindungen steigt auch die schnelle Verfügbarkeit für die Pflanzen, aber auch die Verluste nehmen zu (Auswaschung von Nitrat und Verflüchtigung von Ammonium als Ammoniak). Organischer Stickstoff (Stallmist, Kompost) wird dagegen nur langsam über Mineralisation verfügbar und stellt somit über lange Zeit eine Stickstoffquelle dar (Enquete 1994).

Weitaus geringere anthropogene NH₃-Emissionen stammen aus der Anwendung von mineralischen Düngemitteln, aus der Verbrennung fossiler Energieträger und von Biomasse sowie aus dem Kraftfahrzeugverkehr (Wirkung des Dreiwegekkatalysators).

Die Neutralisationsreaktion mit atmosphärischen Säuren (SO₂, HNO₃) in Aerosolen stellt die größte Senke für NH₃ dar. Die Aerosolteilchen können über weite Entfernungen in der Atmosphäre transportiert und über Regen, Schnee, Tau, Nebel usw. naß oder über Stäube, Aerosole und als Gase trocken auf Boden und Vegetation deponiert werden (Grünhage et al. 1992b).

3.4.3 Kohlenmonoxid (CO)

Kohlenmonoxid gilt - obgleich auch infrarotaktiv - nur als indirekt wirksames Treibhausgas, weil es (wegen seiner kurzen Lebensdauer von einigen Monaten) nicht wesentlich zum Treibhauseffekt beiträgt. Es beeinflusst jedoch erheblich den Ozonhaushalt der Troposphäre und über den Abbau durch das troposphärische OH-Depot auch die Abbauege anderer Spurengase.

Die Angaben über Konzentrationen und emittierte Mengen sind ebenfalls noch sehr unsicher (Tabelle 1).

Nahezu 2/3 der globalen CO-Emissionen dürften anthropogenen Ursprungs sein. Landwirtschaftliche Aktivitäten könnten für etwa 30 % der CO-Mengen verantwortlich sein, da als Quellen die Biomasseverbrennung (die größtenteils der Landwirtschaft zugeordnet werden muß) und die troposphärische Methanoxidation (etwa 50 % des Methans stammen aus der Landwirtschaft) in Frage kommen (Abbildung 4). Ein geringer

Teil soll auch durch Pflanzen, Mikroorganismen und aus den Ozeanen in die Atmosphäre abgegeben werden.

Für Kohlenmonoxid stellt der trophosphärische Abbau über OH-Radikale wie für Methan die bei weitem größte Senke dar. Darüber hinaus erfolgt auch ein Abbau im Boden.

Landwirtschaftliche Quellen für Kohlenmonoxid sind für Deutschland nicht bekannt, doch stellen indirekt auch die nationalen Methanemissionen Quellen für CO dar, da der atmosphärische Abbau von Methan über CO als Zwischenprodukt führt. Dies würden etwa 3 Mio. t CO (durch die Landwirtschaft, eigene Schätzung) mehr bedeuten als im Nationalen Bericht (UBA 1993) ausgewiesen ist.

4 Reduktionsmöglichkeiten für klimarelevante Spurengase aus der Landwirtschaft

Eine Reduktion von Emissionen klimarelevanter Spurengase aus dem Bereich der Landwirtschaft ist für nahezu jedes vorher angesprochene Spurengas theoretisch in vielfacher Weise möglich, die praktische Realisierbarkeit oftmals jedoch zweifelhaft, u. U. mit anderen Nachteilen verbunden und das Maß der Reduktion nicht angebbbar (siehe Einführung). Die hier genannten Maßnahmen und Werte sind überwiegend die Meinungen einzelner Autoren oder Autorengruppen, also subjektiv zu sehen. Sie bedürfen weiterer kritischer Betrachtung und sollen gewissermaßen auch anregen, über bestimmte Maßnahmen weiter nachzudenken.

4.1 Kohlendioxid (CO₂)

Die Möglichkeiten zur Senkung der CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft lassen sich ganz grob untergliedern in Maßnahmen zum Erhalt oder Ausbau der C-Senken für die CO₂-Bindung, Minderung der CO₂-Emissionen insbesondere fossiler Art aus der Landwirtschaft und Substitution von fossilen Energieträgern durch nachwachsende Biomasse. Hierbei gibt es jedoch zwischen den Bereichen keine scharfen Grenzen sondern oftmals fließende Übergänge.

4.1.1 Erhalt oder Ausbau von C-Senken

Eine sehr wichtige globale Maßnahme wäre die

- Verminderung bzw. der völlige Stop der Tropenwaldvernichtung für Landnutzungsänderungen, Abbrennen von Savannen zur Urbarmachung für Ackerflächen usw.

Hier liegt global das weitaus größte Einsparpotential mit $1,6 \pm 1$ Gt C/a oder $5,9 \pm 3,7$ Mrd. t CO₂ für den Bereich der Landwirtschaft. Doch dürfte es sehr schwierig sein, kurzfristig bedeutende Minderungen zu erreichen, da hier eine langfristige Umerziehung von Menschen notwendig ist, die diese Verfahren in großem Maße praktizieren. Hiermit wären allerdings nicht nur die CO₂-Emissionen zu reduzieren, sondern auch die der dabei ebenfalls anfallenden Spurengase wie CH₄, N₂O, NO_x, VOCs u. a.

Weitere Möglichkeiten hierzu wären:

- Das Vermeiden der Übernutzung landwirtschaftlicher

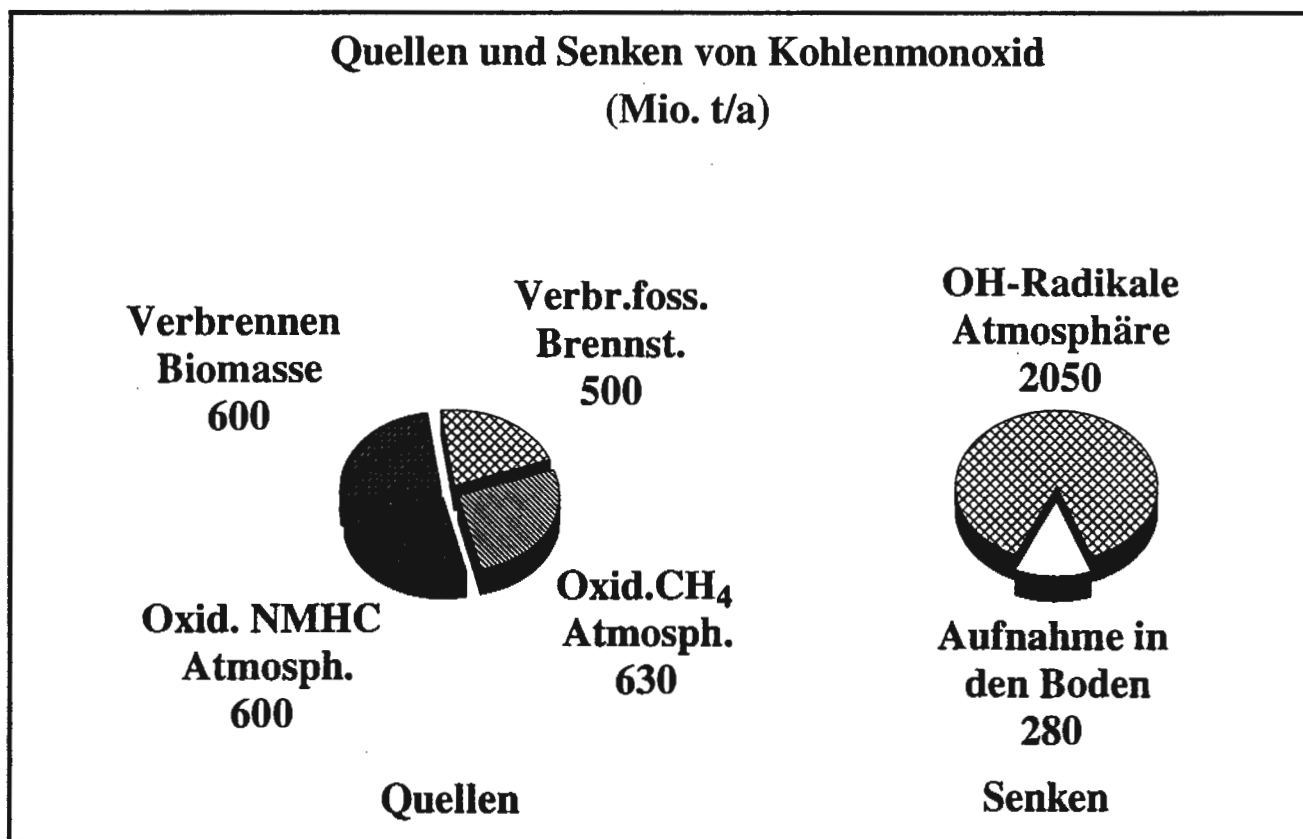


Abbildung 4: Quellen und Senken des Kohlenmonoxids CO (Sanhueza 1991, nach Crutzen und Zimmermann)

Böden sowie die Verminderung der Degradation, der Versalzung, der Erosion und der Desertifikation von Böden können den Humusabbau im Boden und somit die CO₂-Emissionen verringern.

- Die Anwendung bodenschonender Arbeits- und Anbaumethoden kann dem gleichen Ziel dienen und überdies fossiles CO₂ (verringertes Einsatz von Arbeitsmaschinen) einsparen.
- Durch die Einbringung organischer Masse in den Boden zur Humusanreicherung (sehr aufwendig und wirkt sehr langsam) dürfte wohl keine nennenswerte Reduzierung der atmosphärischen CO₂-Konzentration erreicht werden (BMU 1990).
- Hingegen ist die Umwandlung von Acker- in Grünlandflächen geeignet, einmalig eine gewisse Reduktion über die CO₂-Einbindung zu erreichen (Küntzel 1994 u. 1995, BMU 1990), da der Atmosphäre über den Aufbau der Vegetation zunächst verstärkt CO₂ entzogen wird. Hierbei nimmt auch der C-Gehalt im Boden zu.
- Eine Erstaufforstung brachliegender Flächen würde eine Reduktion von 13 bis 15 t CO₂/ha*a in den ersten Anbaujahren erbringen (FAL 1992, BMU 1990). Durch solche forstwirtschaftlichen Maßnahmen (Vermehrung der Biomasse, verstärkte Holznutzung auf 1,5 bis 3 Mio. ha Fläche in Deutschland) könnten bis zu 20 bis 40 Mio. t CO₂/a absorbiert werden (BMU 1993).

4.1.2 Verminderung der CO₂-Emissionen über Verringerung des fossilen Energieträgereinsatzes

Die auf die landwirtschaftliche Fläche bezogene CO₂-Emission über fossile Energieträger beträgt im Durchschnitt in Deutschland etwa 2,25 t CO₂/ha. Die gesamte Emission daraus beträgt etwa 38 Mio. t CO₂/a (Tabelle 1), das sind nur knapp 4 % der deutschen Gesamtemissionen. Trotz dieser geringen Emissionsrate lassen sich diese Werte noch weiter verringern:

- Die Reduzierung der Bodenbearbeitung (sie verbraucht 60 % des eingesetzten Treibstoffs) dürfte diesbezüglich weiter erhebliche Einsparungen bringen (BMU 1990) (siehe auch bei Erhaltung der C-Quellen).
- Eine Verringerung des Mineraldüngereinsatzes kann eine beträchtliche Verminderung von CO₂-Emissionen erbringen, da bei der Herstellung von Mineraldünger ca. 1/3 der CO₂-Emissionen aus fossilen Energieträgern erzeugt werden, für die die Landwirtschaft verantwortlich ist. Hierdurch erfolgt auch eine Entlastung von stickstoffhaltigen Emissionen (NH₃, NO_x, N₂O, siehe Abschnitte über die Stickstoffverbindungen).
- Die Rückführung der Tierproduktion soll je nicht gehaltene GV eine Einsparung von 0,7 t CO₂ bewirken (BMU 1990).

• Extensivierung und Flächenstilllegung:

→ a) Extensivierung der pflanzlichen Produktion:

Hierfür wird eine CO₂-Emissionsminderung (fossile Quellen!) zwischen 1/3 (Smukalski et al. 1992) und 2/3 (Haas und Köpke 1994) angegeben, wobei letztere von

einer Gesamtemission von nur 1,4 t CO₂/ha ausgehen. Gleichzeitig dürfte damit auch eine Reduktion stickstoffhaltiger Emissionen gegeben sein. Für die CO₂-Minderung geben Smukalski et al. (1992) am Beispiel des Wintergetreideanbaus auf 5,1 Mio. ha Fläche einen Eindruck: Bei verminderter N-Düngung (20-70 kg/ha) und reduzierter Bodenbearbeitung können im Vorleistungsbereich 4-6 Mio. t CO₂ bzw. 0,8 bis 1,2 t/ha*a eingespart werden.

Eine weitergehende flächendeckende Extensivierung bei weitgehendem Verzicht auf Mineraldünger und auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel und vermindertem Heizölbedarf für die Körnertrocknung aber mit erhöhtem Treibstoff- und Schmiermittelbedarf für mechanische Pflegemaßnahmen würde im Vorleistungsbereich ca. 12-13 Mio. t CO₂/a einsparen und die stickstoffgebundenen Emissionen reduzieren. Gleichzeitig sinkt jedoch auch die temporäre Senkenfunktion für CO₂ um ca. 40 % (Smukalski et al. 1992)!

→ b) Flächenstilllegung:

Die Flächenstilllegung auf denkbaren 4 Mio. ha und Schaffung neuer Biotope auf 1 Mio. ha würde im Vorleistungsbereich 5 Mio. t CO₂/a einsparen, aber die Senkenwirkung für diese Flächen wäre deutlich geringer als bei konventionellem Landbau (Smukalski et al. 1992). Reduktion der CO₂-Emissionen nach BMU (1990) um 1,5 t/ha*a.

- Übergang zu ökologischem Landbau (Verzicht auf synthetische Produktionsmittel wie Dünger und Pflanzenschutzmittel, Verwendung betriebseigener Futtermittel usw.). Hiernach würde eine Reduktion der CO₂-Emissionen von 0,6 t/ha*a (BMU 1990) bis 0,85 t/ha*a (Haas und Köpke 1994, ausgehend von einem Wert für konventionellen Landbau von 1,4 t CO₂/ha*a) möglich sein. Dies ist ebenfalls mit einem Rückgang N-haltiger Emissionen verbunden, aber auch der Ertragsrückgang beträgt zwischen 10 und 30 %, der zu einem Senkenverlust für CO₂ führen würde.

4.1.3 Verminderung von CO₂-Emissionen aus fossilen Energiequellen über die energetische Verwendung von Biomasse

Die Landwirtschaft kann dazu beitragen, daß über die energetische Verwendung von Biomasse (organische Reststoffe, nachwachsende Rohstoffe) fossile Energieträger substituiert werden und somit die CO₂-Emissionen aus fossilen Quellen reduziert werden können. Das bei der energetischen Verwertung von Biomasse freigesetzte Kohlendioxid wird bei der Biomassebildung über den Photosyntheseprozess wieder in neu nachwachsende Biomasse eingebunden. Aber eine wirkliche CO₂-Reduktion in der Atmosphäre ist auch damit nicht möglich. Dies gelingt nur bei einer Verminderung der Energieerzeugung über Verbrennungsprozesse bzw. bei genereller Einsparung von Energie. Aber auch dann würde über langandauernde Austauschprozesse zwischen den Reservoiren (Atmosphäre, Ozeane, Biosphäre usw.) die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre nur sehr langsam (über viele 100 Jahre, Joos und Sarmiento 1995) wieder abnehmen.

Für den Ersatz fossiler Energieträger durch Biomasse und organische Reststoffe sollen stellvertretend für zahlreiche bekannte und immer wieder (meist zu hoch) genannte CO₂-Einsparpotentiale einige Werte angegeben werden:

- Ersatz fossiler Treibstoffe: Durch die Verwendung von Rapsöl als Treibstoff sollen 2,25 t CO₂/ha*a eingespart werden können (BMU 1990).
- Anbau und Verwendung nachwachsender Energieträger: Hier werden folgende CO₂-Einsparpotentiale genannt (BMU 1990):

Weizenanbau (Ganzpflanzengetreide?):	bis 15 t/ha*a
C4-Pflanzen:	bis 25 t/ha*a
Kurzumtriebsholz:	10 bis 15 t/ha*a
- Thermische Verwertung von Rest- und Abfallstoffen (Waldrestholz, Abfallholz, Stroh u. a.) nach Enquete-Bericht 1991:

Reduktionspotential bis 2005:	bei ca. 15 Mio. t CO ₂ /a
realistisch substituierbar	ca. 4,5 Mio. t CO ₂ /a
- Anaerobe Verwertung von Gülle über Biogasanlagen (Weiland 1995): Das Biogaspotential für Deutschland beträgt derzeit ca. 3,5 Mrd. m³ mit ca. 60 % Methan (CH₄) und einem Heizwert von 10 kWh/m³ Methan, entsprechend einem CO₂-Reduktionspotential von ca. 4 Mio. t/a. Infolge häufig fehlender Verwertungsmöglichkeit für die über Biogas erzeugbare Energie (Wärme und Strom) und durch hohe Investitionskosten für die Anlage zwischen 300 bis mehr als 1000 DM /m³ Faulraum verwerten gegenwärtig ca. 200 (Stand März 1995) landwirtschaftliche Biogasanlagen nur etwa 1 Promille der anfallenden Gülle in diesem Sinne.

4.2 Methan (CH₄)

Landwirtschaftliche Aktivitäten sind für die größten anthropogenen Methanemissionen verantwortlich. Hier sind in erster Linie die Emissionen aus der Haltung von Wiederkäuern (z. B. Rinder), der Naßreisbau, die Verbrennung von Biomasse (Brandrodung Tropenwald für Landnutzungsänderungen) und Emissionen aus tierischen Exkrementen zu nennen (Tabelle 1). Mögliche Reduktionsmaßnahmen sollten infolgedessen auch bei diesen großen Quellen ansetzen.

Selbstverständlich ließen sich mit dem Stop der Tropenwaldrodung auch die entsprechenden Methanemissionen aus dieser Quelle "Biomasseverbrennung" vollständig vermeiden oder wenigstens erheblich verringern. Doch dürften aus den gleichen Gründen wie für Kohlendioxid (siehe Abschnitt 4.1.1) hierfür kurz- und mittelfristig keine nennenswerten Emissionsminderungen möglich sein.

4.2.1 Methan aus dem Naßreisbau

Die ursprünglich sehr hoch angesetzten Emissionen von Methan aus dem Reisbau auf bewässerten Feldern sind inzwischen mehrfach nach unten korrigiert worden. Als gegenwärtiger Schätzwert gilt derzeit global ca. 60 Mio. t/a. Werden alle Möglichkeiten zur Reduktion genutzt, so werden vermutlich die Emissionen trotzdem weiter ansteigen, da durch den Anstieg der Weltbevölkerung, insbesondere in der dritten Welt, in den nächsten Jahrzehnten die Reisproduktion bis

zum Jahre 2020 um nahezu 50 % (Neue 1991) durch Ausweitung der Anbauflächen (Bouwman et al. 1991) oder /und Steigerung der Erträge intensiviert werden muß.

Eine Vielzahl von Reduktionsmöglichkeiten ist in der Vergangenheit diskutiert worden. Nach Meinung des IPCC (1990) sind insgesamt Reduktionsmöglichkeiten für die Methanemissionen aus dem Naßfeldreisbau zwischen 10 und 30 % möglich. Hier sollen stellvertretend für andere Autoren die von Heyer (1994) diskutierten Maßnahmen genannt werden:

- Auswahl und Züchtung geeigneter Sorten (mit geringer Wurzelmasse)
- Änderung des Bewässerungsregimes, z. B. mit Unterbrechung der Flutung (dann gelangt Sauerstoff in den Boden)
- Perkolation von Wasser in den Boden (Sauerstoffeintrag mit dem Wasser)
- organische Düngung mit Kompost oder Rückständen aus Anaerobanlagen (das bedeutet eine Verminderung der schnell abzubauenden organischen Substanz und damit von Methanemissionen)
- Einsatz von Chemikalien mit dem Dünger, z. B. von Kalziumkarbid (Hemmung der Methanogenese über das gebildete Azetylen) oder von Ammoniumsulfat (Förderung der Desulfurikation)
- besser angepasste N-Düngung (Erhöhung des Anteils anorganischer Dünger gegenüber organischem N-Dünger)

4.2.2 Methan aus der Haltung von Wiederkäuern

Die höchsten Methanemissionen im Bereich landwirtschaftlicher Aktivitäten stammen eindeutig aus der Rinderhaltung. Sie haben sich seit 1890 vervierfacht (IPCC 1990). Der gegenwärtige globale Schätzwert schwankt zwischen 70 und 100 Mio. t/a. Für Deutschland liegen die Emissionen bei ca. 1,4 Mio. t/a, wobei allerdings nach der Wiedervereinigung Deutschlands durch den drastischen Abbau von Rinderbeständen in den neuen Bundesländern inzwischen erhebliche Methanreduktionen auf schätzungsweise 1,2 Mio. t/a (Enquete 1994) eingetreten sind. In den zivilisierten Länder wie auch in Deutschland führten züchterische Erfolge zu einer Erhöhung der Milchleistung bei den Kühen. Hierdurch wurde in den letzten 40 Jahren die Methanproduktion je Liter Milch um 30 % gesenkt (FAL 1992, Gädeken 1995).

Aus der Vielzahl möglicher, aber praktisch nur selten realisierbarer Maßnahmen (für die von Heyer (1994) z. T. auch Reduktionsmaßzahlen angegeben werden) seien hier die wichtigsten genannt:

- Veränderung der Fütterungspraxis von Rindern: Austausch von Futter mit hohem CH₄-Potential gegen Futter mit niedrigem Potential (Nur für unterentwickelte Länder von Bedeutung; in zivilisierten Ländern sind die Möglichkeiten weitgehend ausgereizt, EPA 1989).
- Veränderung der Futterzusammensetzung (Zusatzfutter, Nährstoffe) um Defizite auszugleichen. Hierdurch Erhöhung der Tierproduktivität (Vorwiegend für Entwicklungsländer; in zivilisierten Ländern weitgehend im Optimum betrieben, EPA 1989, IPCC 1990, Gädeken 1995)

- Fruchtbarkeit der Tiere steigern (IPCC 1990)
- Reproduktionseffizienz in Herden steigern, um die Herden für die Züchtung zu verkleinern (Entwicklungsländer, EPA 1989)
- Steigerung der Produktivität über Hormone (z.B. BST: Auslösung und Erhaltung der Laktation). Reste des Hormons verbleiben im Produkt. Verwendung in Deutschland und in EU nicht erlaubt. (EPA 1989, IPCC 1990, Heyer 1994)
- Verwendung anaboler Stereoider (Gewichtszunahme, verbesserte Futtermittelausnutzung), wird hinter das Ohr implantiert (Heyer 1994)
- Veränderung der Bakterienflora im Wiederkäuermagen (Verdaulichkeit fördern, Methanogenese behindern) (EPA 1989) bis zur Entfernung der Pansenprotozoen (Heyer 1994)
- Züchtung von Tieren auf minimale Methanproduktion (langfristig, EPA 1989)

Von all diesen Maßnahmen dürften im wesentlichen nur die ersten vier eine gewisse Bedeutung haben, wenn es darum geht, den Methanausstoß aus der Rinderhaltung in weniger entwickelten Ländern zu verringern. Für die zivilisierten Länder ist dies weitgehend schon optimiert. Hier könnte lediglich noch durch eine konsequente Leistungszüchtung in Verbindung mit verbesserten Halte- und Fütterungsverfahren (Richtung verbesserte Tiergesundheit und längere Nutzungsdauer) über eine Verminderung von Tierzahlen der Methanausstoß für Mast- und Milchrind um ca. 10 bis 15 % gesenkt werden (FAL 1992, Gädeken 1995).

4.2.3 Methan aus tierischen Exkrementen

Die Methanemissionen aus der Tierhaltung sind zwar bei weitem nicht so hoch (sichere Zahlen über globale und nationale Mengen gibt es leider noch nicht), doch lassen sich hier durch relativ einfache Maßnahmen hohe Reduktionsraten von insgesamt 30 bis 50 % erzielen:

- Verminderung der Tierzahl bei Einsatz hochleistender Einzeltiere (daraus folgt auch eine Verringerung der Menge tierischer Exkremente) bei gleichbleibender Produktion (FAL 1992). Hierdurch auch Verminderung der CO₂-Emissionen um 0,7 t CO₂/a pro nichtgehaltene GV (BMU 1990) und der Emissionen N-haltiger Gase
- Verminderung der Überschussproduktion im tierischen Bereich bzw. Änderung des Verbraucherverhaltens (weniger tierische Produkte). Über verminderte Tierzahlen auch Verminderung der Emissionen von CO₂ und von N-haltigen Gasen (Isermann 1994)
- Extensivierung der Tierhaltung. Verstärkte Rinderhaltung auf Weideland. Ein hierdurch verminderter Kraftfuttermittelausatz könnte durch verstärkten Rohfuttermittelverzehr eine erhöhte Methanemissionen der Tiere zur Folge haben. Infolge der geringeren Tierleistung würden bei gleichbleibendem Bedarf an tierischen Produkten höhere Tierzahlen zu höheren Methanemissionen führen (FAL 1992).

- Verstärkter Übergang von Flüssig- auf Festmistwirtschaft. Ob hierdurch allerdings eine Verringerung von Methanemissionen möglich ist, müssen gegenwärtig laufende Untersuchungen aber erst noch zeigen (Ahlgrimm et al. 1995). Über die Bindung von NH₃ an Einstreu verringerte NH₃-Emissionen (Heyer 1994). Aber möglicherweise höhere N₂O-Emissionen (Ahlgrimm et al. 1995)
- Abdeckung von Flüssigmistlagern wie Lagunen, Erdbecken und von anderen Lagerbehältern sowie Auffangen des Methans und dessen energetische Nutzung (Reduktion der CH₄-Emissionen aus Lagunen: 50-90 %) (IPCC 1990)
- Verminderung von Lagerzeiten (Heyer 1994). Ob dies jedoch immer möglich ist?
- Anaerobe Behandlung von Flüssigmist in Biogasanlagen. Biogaspotential aus Flüssigmist in Deutschland ca. 3,5*10⁹ m³ mit Heizwert von ca. 6 kWh/m³. Genutzt in Deutschland ca. 1 Promille vom Potential (ca. 200 Anlagen). Hohe Investitionskosten ab 300 DM/m³ Faulraum (Weiland 1995)

4.3 Distickstoffmonoxid (Lachgas, N₂O)

Emissionen von Lachgas stammen überwiegend aus natürlichen Quellen, die kaum oder nur wenig beeinflussbar sind. Allerdings werden zu solchen Quellen auch Wälder, Flußmündungen, Gewässer u. a. gerechnet, aus denen ebenfalls beträchtliche Emissionen stammen können, die jedoch durch Verfrachtung (über Luft und Wasser) von N-Verbindungen durch menschliche - insbesondere auch von landwirtschaftlichen - Aktivitäten nicht mehr als natürliche Quellen bezeichnet werden können (Isermann 1992).

Diese indirekt, sowie die direkt durch Düngereinsatz freigesetzten N₂O-Mengen werden global auf 0,2 bis 3,2 Mio. t/a geschätzt (Enquete 1994 u. Beese 1994) und dürften sich am leichtesten reduzieren lassen. Hier eine Auswahl von Reduktionsmöglichkeiten:

- Reduzierung der N-Düngermenge (Vermeiden von N-Überschüssen), da die N₂O-Emissionen mit dem N-Überschuß im Boden steigen (Munack 1994 zitiert in Enquete 1994, Beese 1994). Zum Beispiel würde eine 10 %-ige Minderung der N-Düngung auch zu einer entsprechenden Reduktion von N₂O-Emissionen führen (FAL 1992).
- Optimierung der Düngermenge, evtl. zeitliche Staffelung der Ausbringung nach Bedarf (Beese 1994)
- flächenangepaßte Tierhaltung (nicht mehr als 1,5 bis 2 Dungeinheiten/ha; 1 Dungeinheit entspricht ca. 80 kg N) (Beese 1994)
- Auswahl der richtigen Düngertypen. Ammoniumhaltige Dünger liefern höhere N₂O-Emissionen (aus Nitrifikations- und Denitrifikationsvorgängen) als nitratthaltige (Beese 1994)
- bessere Fruchtfolgegestaltung, insbesondere nach Raps, Leguminosen, Zuckerrüben (Beese 1994)
- nur leichte Bodenbearbeitung, d. h. flaches Einbringen von organischer Masse, keine Verdichtung des Bodens (Beese 1994)

- bei Wassersättigung des Bodens gibt es kaum noch N_2O -Freisetzung (Beese 1994)

4.4 Ammoniak (NH_3)

Zahlreiche Maßnahmen, die auch CO_2 , CH_4 , N_2O und NO_x reduzieren würden, wären auch geeignet, die NH_3 -Emissionen zu vermindern. Hier sollen wieder einige Möglichkeiten ohne Anspruch auf Vollständigkeit genannt werden:

- bedarfsorientierte N-Düngung, das heißt Vermeiden von N-Überschüssen
- bedarfsorientierter Konsum und eine entsprechend angepasste Produktion tierischer Produkte (Eiweißübersversorgung von 100 %, Fettübersversorgung von 80 % müssen abgebaut werden). Dies erfordert aber ein Umdenken in der Bevölkerung und Änderung der Verbrauchergewohnheiten. Hierdurch wäre Verminderung von Tierzahlen möglich (Isermann 1994).
- Verminderung von Tierzahlen durch den Einsatz hochleistender Einzeltiere um das Produktionsniveau zu halten (Isermann 1994)
- effiziente, ausgewogene Tierfütterung (Isermann 1994)
- Abdichtung von Güllebehältern bzw. Ausbildung von Schwimmschichten auf Güllelagerbehältern
- anaerobe Güllebehandlung (über Biogasanlagen)
- kühle Lagerung von Gülle, die Gülle nicht aufrühren
- kühle, feuchte Lagerung von Festmist (Enquete 1994)
- Verbesserung des C/N-Verhältnisses von Festmist durch Strohzusatz (Enquete 1994). Wie aber eigene laufende Untersuchungen bereits andeuten (Ahlgriem et al. 1995), sind dann höhere N_2O -Emissionen möglich.
- Filterung von Abluft aus Stallgebäuden und abgedeckten Mistlagern
- Strippen von Ammoniak (Heißfermentation über Belüftung von Gülle) und Auffangen des NH_3 in verdünnter Schwefelsäure (Düngergewinnung als Ammoniumsulfat). N-Entlastung der Gülle um 60 %. Damit auch Reduktion von Methanemissionen durch C-Abbau während der Heißfermentation (Hahne 1995)

4.5 Stickoxide und Kohlenmonoxid (NO_x und CO)

Für die Verminderung der weiteren indirekt wirksamen Spurengase wie für die Stickoxide NO_x und Kohlenmonoxid gibt es (sofern Biomasseverbrennung und Tropenwaldvernichtung hier einmal ausgeschlossen werden) in bezug auf Reduktionsstrategien nur wenig zu sagen: Für das NO_x ist der landwirtschaftliche Anteil an den Emissionen gar nicht genau bekannt; infolgedessen kann natürlich auch nichts über Verminderungsmöglichkeiten ausgesagt werden.

Für CO gibt es einen Zusammenhang mit dem Methan, da CO ein Zwischenprodukt im atmosphärischen Abbauweg des Methans darstellt. In dem Maße, wie sich die Methanemissionen aus der Landwirtschaft reduzieren lassen, würde auch die CO -Freisetzung abnehmen.

Zusammenfassung

Die Landwirtschaft ist ein bedeutender Verursacher klimarelevanter Emissionen. Wird der Bereich der Tropenwaldzerstörung und Biomasseverbrennung miteingeschlossen, so beläuft sich der landwirtschaftliche Anteil zum anthropogenen Treibhauseffekt auf über 30 %. Damit ist klar, daß sich mit der teilweisen oder gar vollständigen Einstellung dieser Praktiken hohe Reduktionsraten ergeben würden.

Aber auch bei Ausschluß dieser großen Quelle für nahezu alle direkten und indirekten Treibhausgase lassen sich durch Einschnitte in der Milch- und Fleischproduktion die Freisetzung von Methan und von gasförmigen Stickstoffverbindungen erheblich reduzieren.

Eine beträchtliche Reduktion von Distickstoffmonoxid ließe sich mit einer an den wirklichen Pflanzenbedarf angepassten Stickstoffdüngung (organisch und mineralisch) erreichen.

Flächenstilllegung und Extensivierung scheinen kein geeignetes Mittel, um Kohlendioxidbilanzen von der landwirtschaftlichen Seite her günstiger gestalten zu können.

Ökologischer Landbau würde zwar zur Entlastung energiebedingter CO_2 -Emissionen und gasförmiger Stickstoffverbindungen beitragen können, doch wären damit auch Ertragseinbußen verbunden, deren Kompensation die Emission klimarelevanter Gase wieder ansteigen ließe.

Dagegen kann mit dem Anbau nachwachsender Rohstoffe, aber wohl noch mehr mit dem von nachwachsenden Energieträgern der energiebedingte Ausstoß von fossilem CO_2 nennenswert vermindert werden.

Agriculture's share to the emissions of trace gases - possibilities for reduction?

Agriculture causes a lot of trace gas emissions affecting climate and the concentration of the tropospheric and stratospheric ozone. If biomass burning - due to the burning of tropical rain forest and of savannas for shifting agriculture - is included, agriculture's contribution to the anthropogenic emissions of trace gases accounts for more than 30 %. Large reductions of these emissions would be possible, if such activities could be reduced or stopped entirely.

Without this big source of trace gas emissions there also other possibilities reducing the emissions of methane (CH_4) and of nitrogen compounds especially by reducing the consumption and production of milk- and meat-products. Nitrous oxide (N_2O)-emissions could widely be avoided by using organic or mineralic fertilizer only as much as is needed by plant growth. But there seems to be only small or no reduction of carbon dioxide (CO_2)-emissions by extensification and land diversion.

Alternative arable farming could reduce the emissions of carbon dioxide and of gaseous nitrogen compounds; but for compensating the smaller biomass production of this form of agriculture the production has to be extended. Therefore the emissions will also increase.

Growing biomass for renewable raw materials and for energetic purposes may reduce slightly the emissions of carbon dioxide caused by burning fossil fuels.

Literatur

- Ahlgrimm, H.-J.; Gädeken, D. (1990): 2. Methan (CH₄) - In: Sauerbeck, D.; Brunnert, H. (Hrsg.): "Klimaveränderungen und Landbewirtschaftung", Teil I.- Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 117, S. 28-46.
- Ahlgrimm, H.-J.; Dämmgen, U. (1994): Beitrag der Landwirtschaft zur Emission von klimarelevanten Spurengasen - In: Brunnert, H. und Dämmgen, U. (Hrsg.): "Klimaveränderungen und Landbewirtschaftung", Teil II.- Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 148, S. 75-106.
- Ahlgrimm, H.-J.; Hüther, L.; Schuchardt, F. (1995): "Ausmaß der Emissionen von N₂O und CH₄ bei der Behandlung und Lagerung tierischer Exkremente". - Tätigkeitsbericht 1994 im Projekt A1a-5 des BMBF-Klimaforschungsteilprogramms "Spurenstoffkreisläufe".
- Andrae, M.O. (1991): Beitrag der Landwirtschaft zu direkt und indirekt wirksamen treibhausrelevanten Spurenstoffen in der Troposphäre und Auswirkungen - Schriftliche Stellungnahme zum Fragenkatalog der Enquete-Kommission "Schutz der Erde" bei der Expertenanhörung am 25./26.11. 1991, Bonn.
- Beese, F. (1994): Studie D: "Gasförmige Stickstoffverbindungen" Studienprogramm Landwirtschaft Teilband I, Enquete-Kommission, Bonn.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Hrsg., 1990): Umweltpolitik: Beschluß der Bundesregierung zur Reduzierung der CO₂-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahre 2005, Bonn, 1990.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Hrsg., 1993): Klimaschutz in Deutschland. - Nationalbericht der Bundesregierung für die Bundesrepublik Deutschland im Vorgriff auf Artikel 12 des Rahmenabkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, Bonn, 1993.
- Bouwman, A.F.; Van den Born, G.J.; Swart, R.J. (1991): Land Use related Sources of CH₄ and N₂O. - Draft paper prepared for the Enquete Commission of the German Bundestag "Measures to protect the Earth's Atmosphere", November 1991.
- Bouwman, A.F. (1989): The role of soil and land use in the greenhouse effect. - Background Paper zu "International Conference on Soils and the Greenhouse Effect", Wageningen, 14.-18. August 1989.
- Crutzen, P.J.; Andrae, M.O. (1990): Biomass Burning in the Tropics: Impact on the Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles. - Science 250 (1990) 21. Dec., S. 1669-1678.
- Enquete-Kommission des 11. Deutschen Bundestages "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" (Hrsg., 1991): Schutz der Erde, Band 1. - Deutscher Bundestag, Referat für Öffentlichkeitsarbeit, Bonn, 1991.
- Enquete-Kommission des 12. Deutschen Bundestages "Schutz der Erdatmosphäre" (Hrsg., 1992): Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. - Economica-Verlag, Bonn und Verlag, C.F. Müller, Karlsruhe, 1992.
- Enquete-Kommission des 12. Deutschen Bundestages "Schutz der Erdatmosphäre" (Hrsg., 1994): Schutz der Grünen Erde, Economica-Verlag, Bonn, 1994.
- EPA (1989): Reducing Methane Emissions from Livestock: Opportunities and Issues, Environmental Protection Agency (EPA). - Washington D.C., Aug. 1989.
- FAL 1992: Antwort der FAL auf eine große Anfrage der Bundestagsabgeordneten Ganseforth und der SPD-Fraktion an die Bundesregierung zur Umsetzung der Empfehlungen der Enquete-Kommission "Schutz der Erde" vom 14.7.1992.
- Gädeken, D. (1995): Persönliche Mitteilung.
- Gibbs, M.J.; Woodbury, J.M. (1993): Methane emissions from livestock manure. - International Workshop Methane and Nitrous Oxide, 3.-5. February, Amersfort. (zitiert in J. Heyer, Studie C: "Methan" für die Enquete-Kommission "Schutz der Erde" vom 30.5. 1993).
- Grünhage, L.; Dämmgen, U.; Jäger, H.-J. (1992a): Das chemische Klima (I): Konzentration in der Umgebungsluft - In: "Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf ein Grünlandökosystem". - Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 128, 1992.
- Grünhage, L.; Hertstein, U.; Dämmgen, U.; Jäger, H.-J. (1992b): Arbeits- und Meßkonzept zur Beurteilung möglicher Wirkungen luftgetragener Stoffe im Ökosystem Grünland. - In: "Auswirkungen luftgetragener Stoffe in ein Grünlandökosystem". - Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 128, 1992.
- Haas, G.; Köpke, U. (1994): Vergleich der Klimarelevanz ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung. - Studie zum Studienprogramm über Landwirtschaft der Enquete-Kommission, zitiert in Enquete-Bericht 1994.
- Hahne, J. (1995): Persönliche Mitteilung.
- Haider, K.; Heinemeyer, O. (1990): 3. Distickstoffoxid (N₂O). - In: Sauerbeck, D.; Brunnert, H.: (Hrsg.): "Klimaveränderungen und Landbewirtschaftung", Teil I. - Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 117, 1990.
- Heyer, J. (1994): Studie C: "Methan" Studienprogramm Landwirtschaft. - Teilband I, Enquete-Kommission, Bonn.
- Houghton, R.A. (1991): Tropical deforestation and atmospheric carbon dioxide. - Climatic Change 19, S.99-118.
- IPCC (1990): Policymakers Summary of the Formulation of Response Strategies. - Report prepared for IPCC by Working Group III, June 1990.
- Isermann, K. (1992): Agriculture's Share in the Emission of Trace Gases affecting the Climate and some Cause-oriented Proposals for sufficiently Reducing this Share. - Global Climate Change Conference, Bad Dürkheim, 14th - 18th June 1992.
- Isermann, K. (1994): - Studie E: "Ammoniak" zum Studienprogramm Landwirtschaft der Enquete-Kommission.
- Joos, F.; Sarmiento, J.L. (1995): Der Anstieg des atmosphärischen Kohlendioxids. - Physikalische Blätter 51, H.5, S. 405-411.
- Küntzel, U. (1994): Einfluß von Klimaänderungen auf die Grünlandwirtschaft in Mitteleuropa. - In: Brunnert, H. und

- Dämmgen, U: (Hrsg): "Klimaveränderungen und Landwirtschaft", Teil II. - Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 148, S. 287-294.
- Küntzel, U. (1995): Persönliche Mitteilung.
- Neue, H. U. (1991): Schriftliche Stellungnahme zur Anhörung vor der Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages am 25./26. 11.1991, Bonn.
- Quay, P.D.; Tilbrook, B.; Wong, C.S. (1992): Oceanic Uptake of Fossil Fuel CO₂: Carbon-13 Evidence. - Science, 256 (3.April 1992), S. 74-79.
- Sanhueza, E. (1991): Section A: CH₄, N₂O, CO and NMHC. - IPCC WG1 1992 Science Update.
- Schoedder, F. (1990): 1.Kohlendioxid (CO₂) - In: Sauerbeck, D.; Brunnert, H.(Hrsg.): "Klimaveränderungen und Landwirtschaft", Teil I. - Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 117, 1990.
- Schönwiese, C.-D.; Bissolli, P.; Birrong, W.; Ullrich, R. (1990): Anthropogene, klimawirksame Spurengase. - Mengen, Wirkung, Folgen, Gegenmaßnahmen, Klimatologische Aspekte. - Berichte des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/Main, Nr. 87, 1990.
- Schönwiese, C.D. (1995): Persönliche Mitteilung.
- Smukalski, M.; Rogasik, J.; Künkel, K.-J. (1992): Landbau und Treibhauseffekt-CO₂-Umsatz bei unterschiedlicher Intensität der Landwirtschaft. - Landbauforschung Völkenrode 42, 2, (1992), S. 55-61.
- Weiland, P. (1995): Persönliche Mitteilung.
- Verfasser: Ahlgrimm, Heinz-Jürgen, Dr. rer.nat., Institut für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter Prof. Dr. rer.nat. Klaus-Dieter Vorlop.