Minderungsmöglichkeiten klimarelevanter Emissionen aus der Landwirtschaft

Chances of Reducing Emissions of Greenhouse Gases by Agriculture

Hans Jürgen Hellebrand[1] und Axel Munack[2]

[1] Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB), Potsdam

[2] Institut für Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL)

Kurzfassung: Landwirtschaftliche Produktion führt zu verfahrens- und stoffwechselbedingten Emissionen klimarelevanter Spurengase. Der direkte Energieverbrauch und die mineralische Düngung sind die Hauptquellen des Kohlendioxidausstoßes. Die Emission von Lachgas wird wesentlich durch die Stickstoffdüngung beeinflußt, während die Emission von Methan und Ammoniak ursächlich mit der Tierhaltung verknüpft ist. In der vorliegenden Arbeit wird ein Überblick zu den Emissionsquellen und Senken sowie zu den Möglichkeiten und zu den erforderlichen Strategien für eine Reduzierung der Emissionen vermittelt. Neben der emissionsreduzierenden Gestaltung landwirtschaftlicher und landtechnischer Verfahren weist der Übergang zur energetischen Nutzung landwirtschaftlicher Produkte und Reststoffe das größte Reduktionspotential auf. Steigende Energiepreise und eine Änderung der Ernährung mit einem höheren Anteil pflanzlicher Produkte können bedeutende Emissionsminderungen nach sich ziehen.

Deskriptoren: Treibhausgase CO_2, CH_4, N_2O, NH_3; Emissionsquellen; Emissionsminderung; Reduktionspotential

Abstract: *Farming is connected with the emission of greenhouse gases caused by agricultural procedures and metabolism. The direct energy consumption and fertilising are the main sources of carbon dioxide generation. The emission of nitrous oxide is essentially determined by the application of nitrogen fertilisers and manure, whereas methane and ammonia originate mainly from animal husbandry. In this paper a review is given of sources of emissions as well as of possibilities and strategies for emission reduction. A large potential for reduction of emissions is provided by the energetic utilisation of agricultural products and waste in addition to the low-emission design of agricultural procedures. Increasing costs of energy and a change in nutrition diet with growing share of plant products could result in a considerable reduction of emissions of greenhouse trace gases.*

Keywords: *Greenhouse gases CO_2, CH_4, N_2O, NH_3; sources of emissions; reduction of emissions; reduction potential*

1 Treibhauseffekt, Emissionsquellen und Agrartechnik

Die industrielle Entwicklung der letzten hundert Jahre führte zu einem globalen mittleren Temperaturanstieg von etwa 0,5 K. Weltweit trägt die Landwirtschaft über die Emission von klimarelevanten Gasen mit ca. 15% zum zusätzlichen Treibhauseffekt bei [1]. Obwohl noch große Unsicherheit bei der Angabe von Emissionsdaten nach Verursachergruppen herrscht, kann man den Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen in Deutschland auf folgende Bereiche einengen [2, 3 u.a.] : Methan 25 - 35 % (ca. 2 Mt/a bzw. 22 Mt/a CO_2-Äqui.), Ammoniak 90 - 98 % (ca. 1 Mt/a), Lachgas 32 - 38 % (ca. 75 kt/a bzw. 20 Mt/a CO_2-Äqui.) und Kohlendioxid infolge direkter und indirekter Energieaufwendungen etwa 4 - 6 % (ca. 40 - 65 Mt/a CO_2, je nach Datensatz/Autor). Zum Vergleich der Klimawirksamkeit wird hier als CO_2-Äquivalent das massenbezogene äquivalente Treibhauspotential mit einem Zeithorizont von 100 Jahren verwendet (CO_2-Äqui.(CH_4) = 11, CO_2-Äqui.(N_2O) = 270 [1]). Werden andere Zeiträume betrachtet, so ändern sich die Treibhauspotentiale aufgrund unterschiedlicher Verweildauern der Gase (CH_4 steigt auf 35 bzw. 58 und N_2O ändert sich auf 260 bzw. 206 bei einer Zeitspanne von 20 Jahren bzw. ohne Zeitbezug). Da sowohl die Verweilzeiten als auch die indirekten Treibhauswirkungen der Folgeprodukte nicht ausreichend bekannt sind, gelten die Treibhauspotentiale als grobe Relationen zwischen den Gasen [1].

Die Agrartechnik kann durch effizientere Maschinen, Anlagen und Verfahren zur Senkung des Energie- und

Materialverbrauches und damit der direkten und indirekten CO_2-Emissionen beitragen. Weitere CO_2-Minderungsmöglichkeiten entstehen bei der Substitution fossiler Energie durch Energie aus biologischen Stoffen und über das Anwachsen der gebundenen Kohlenstoffvorräte im Boden bzw. in mehrjährigen Pflanzenbeständen. Ammoniak-, Methan- und Lachgasemissionen, die als biologisch bedingte Nebenprodukte entstehen, können über Verfahrens-änderungen in der Tierhaltung und im Pflanzenbau sowie über einen Strukturwandel in der Landbewirtschaftung beeinflußt werden.

2. Kohlendioxid

2.1 Emissionsquellen und Senken

Die in der Landwirtschaft durch Pflanzen aufgenommenen und über Tiere bzw. Produktverwertung abgegebenen CO_2-Mengen kompensieren einander weitgehend. Senken sind mit dem Ausbilden von Kohlenstoffdepots verbunden. Als landwirtschaftliche Quellen für CO_2-Emissionen, die zum zusätzlichen Treibhauseffekt beitragen, können deshalb nur auf fossilen Energieträgern beruhende Energieanwendungen und Freisetzungen aus Kohlenstoffdepots bei Boden- und Landnutzungsänderungen betrachtet werden.

In den Tabellen 1 und 2 wird ein Überblick zum Energieeinsatz in der Landwirtschaft 1989/90 vermittelt. Aktuellere Daten für den Landwirtschaftsbereich sind noch nicht verfügbar. Eine getrennte Darstellung für alte und neue Bundesländer wurde gewählt, um Unterschiede in der Energieverbrauchsstruktur zu verdeutlichen. Die Zahlen sind mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, da es keine direkte statistische Erfassung des landwirtschaftlichen Verbrauches gibt. Weiterhin schränken die beim indirekten Energieeinsatz (Mineraldünger und Futter) möglichen weiten Spannen des kumulierten Energieaufwandes die Genauigkeit ein. Unterschiedliche Datensätze als Grundlage für Hochrechnungen führen zu abweichenden Angaben. So geben z. B. Smukalski et al. [11] für die landwirtschaftlichen CO_2-Emissionen einen Wert von 38,2 Mt/a an. Bei Verwendung der Berechnungsgrundlagen nach Oheimb [6] erhält man höhere Energieaufwendungen und damit auch eine höhere CO_2-Emission. Für die Zielstellung dieses Beitrages, der Darstellung von Minderungsmöglichkeiten, sind Angaben zu den Größenverhältnissen ausreichend. Die CO_2-Emissionen aus direkten und indirekten Energieanwendungen haben etwa die gleiche Größenordnung.

Tabelle 1: CO_2-Emissionen der deutschen Landwirtschaft 1989/90 durch direkte Energieanwendungen
Table 1: CO_2-emissions of German agriculture due to direct energy utilisation in 1989/90

Quelle	Emissionsfaktor (in t CO_2/TJ)	direkte Energie[1] Alte Bundesländer (in PJ)	Emissionen Alte Bundesländer (in Millionen t)	direkte Energie[2] Neue Bundesländer (in PJ)	Emissionen Neue Bundesländer (in Millionen t)	Emissionen gesamt (in Millionen t)	
Kraftstoffe	74	77,4	5,7	44,5	3,3	9,0	9,0[6]
Heizöl	74	87,9	6,5	0,9	0,1	6,6	7,6[6]
Elektrizität	203 (Alte Bundesländer)[3] 277 (Neue Bundesländer)[4]	17,9	3,6	14,1	3,9	7,5	8,4[6]
Gas/ feste Brennstoffe	81,4 (Alte Bundesländer)[5] 137 (Neue Bundesländer)[5]	1,5	0,1	64,9	8,9	9,0	
Gesamt		184,7	15,9	124,4	16,2	32,1	25,0[6]

[1] Angaben nach Tab. 2.32 aus [1], Methodik [6];
[2] nach [7, 8], Daten bezogen auf 1989, bei festen Brennstoffen ist der Bezug von Fernwärme mit 8,9 PJ enthalten;
[3] Emissionsfaktor auf Grundlage Elektroenergiemix Alte Bundesländer 1990 [9];
[4] Emissionsfaktor auf Grundlage Elektroenergiemix Neue Bundesländer 1990 [10];
[5] Da keine Trennung nach Gas und Kohle vorliegt, wurde als mittlerer Wert das Verhältnis von CO_2-Gesamtemission und Endenergieverbrauch gewählt;
[6] Angaben nach [11].

Tabelle 2: CO_2-Emissionen der deutschen Landwirtschaft 1989/90 durch indirekte Energieanwendungen
Table 2: CO_2-emissions of German agriculture due to indirect energy utilisation in 1989/90

Quelle	indirekte Energie Alte Bundesländer (in PJ)	Emissionen[4] Alte Bundesländer (in Millionen t)	indirekte Energie Neue Bundesländer (in PJ)	Emissionen[4] Neue Bundesländer (in Millionen t)	Emissionen[5] gesamt (in Millionen t)
Mineraldünger	76,6[1] 108,2[2]	6,2 8,8	83,8[2]	11,5	17,7 20,3
Pflanzenschutzmittel	3,5[1]	0,3	2[3]	0,3	0,6
Futter	87,6[1] 67,9[2]	7,1 5,5	5,0[2]	0,7	7,8 6,2
Saat- u. Pflanzgut	3,1[1]	0,3	2[3]	0,3	0,6
Maschinen Gebäude Schmierstoffe Sonstiges	22,0[1]	1,8	14[3]	1,9	3,7
Gesamt	192,8 204,7	15,7 16,7	106,8	14,7	30,4 31,4

[1] Angaben nach Tab. 2.32 aus [1], Methodik [6]; Energie min. Dünger: N - 46 GJ/t, P - 10,8 GJ/t, K - 7,2 GJ/t);
[2] nach [7, 8], Daten bezogen auf 1989, Energie min. Dünger: N - 59 GJ/t, P - 17 GJ/t, K - 10 GJ/t, Energie Futter: nur Importfutteranteil;
[3] Schätzwerte auf Grundlage von statistischen Daten DDR 1988, Extrapolation und methodischer Ansatz nach [6];
[4] Da keine Prozeßkettenanalysen vorliegen, wurde als mittlerer Wert für den Emissionsfaktor das Verhältnis von CO_2-Gesamtemission und Endenergieverbrauch gewählt (Alte Bundesländer: 81,4 t CO_2/TJ; Neue Bundesländer: 137 t CO_2/TJ);
[5] Bei [11] wird nur Mineraldünger mit einer Emission von 13,4 Mt/a aufgeführt.

Die aktuellen Emissionen sind niedriger, denn seit 1990 sind die Tierbestände und die für den Marktfruchtanbau genutzten Flächen in den neuen Bundesländern deutlich gesunken. Ebenso ist der Anteil der Braunkohle als Primärenergieträger in dieser Region abnehmend. Verbrennungsmotoren führen zu ca. 15 %, Heizanlagen zu rund 25% und die Verwendung von Mineraldünger und Futter zu mehr als 40 % der landwirtschaftlichen energiebedingten CO_2-Emissionen.

2.2 Möglichkeiten der Emissionsminderung

CO_2-Emissionen können durch Senken des Verbrauches fossiler Energieträger, durch das Gewinnen der Energie aus biologischen Stoffen und durch eine verstärkte Kohlenstoffbindung vermindert werden. **Bild 1** enthält ausgewählte Beispiele theoretisch möglicher Bereiche der CO_2-Emissionsminderung. Bodenbearbeitung und Transport haben den größten Anteil am Treibstoffverbrauch. Der Energieaufwand verringert sich bei pfluglosen Bestellverfahren bzw. reduzierter Bodenbearbeitung. Ebenso kann die weitere Optimierung der Motoren und des Transportbedarfes zur Emissionssenkung beitragen. Insgesamt ist das Minderungspotential durch Treibstoffreduktion gering, da der Pflanzenbau mechanische Arbeit erfordert. Eine Treibstoffeinsparung von etwa 20 % in der Landwirtschaft würde die CO_2-Emission um ca. 2 Mt/a senken.

Ein größeres Minderungspotential könnte durch den Übergang auf Pflanzenöltreibstoffe erschlossen werden. Pflanzliche Produkte sind zunächst CO_2-neutral, und nur über die für Anbau und Aufbereitung eingesetzten Energieanteile, Hilfs- sowie Betriebsstoffe wird die CO_2-Bilanz beeinträchtigt. Zahlreiche Untersuchungen in den letzten Jahren zu den Emissions- und Dauerbelastungseigenschaften rapsölbetriebener Motoren bestätigen die Einsatzmöglichkeit im landwirtschaftlichen Bereich [12 - 15 u. a.].

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand haben Biokraftstoffe auf Basis Rapsöl eine positive Energie- und CO_2-Bilanz [z.B. 16 - 18]. Würde die Landwirtschaft Treibstoffe auf Rapsölbasis einsetzen und die Rapspflanzen ganzheitlich (Stroh, Rapskuchen und Öl) verwenden, so könnte ein Minderungspotential in der Größenordnung von 20 - 30 Mt/a CO_2 (4 - 7 Mt/a CO_2 durch Treibstoff Öl, 15 - 25 Mt/a CO_2 durch Brennstoffe Stroh und Abfälle) für den deutschen Raum erreicht werden. Dazu wäre eine Ausweitung des Rapsanbaus von derzeit 8,2 % auf einen fruchtfolgetechnisch vertretbaren Anteil von 20 % der Ackerfläche nötig. Die Angaben in der Literatur zur Wirtschaftlichkeit von Biokraftstoffen unter den

gegenwärtigen Rahmenbedingungen sind widersprüchlich. Auch die Diskussion zur Energiegewinnung aus biologischen Stoffen ist kontrovers [1, 19, 20]. Offensichtlich wird erst ein deutlicher Preisanstieg fossiler Energieträger die Verwendung von Pflanzenölen beschleunigen.

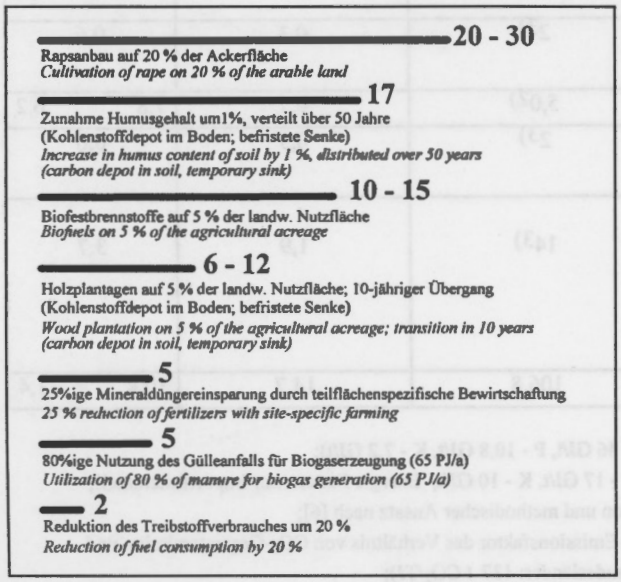


Bild 1: Minderungspotentiale von CO_2-Emissionen (in Mt/a)
Fig. 1: Potentials for reduction of CO_2 emissions (in Mt/a)

Mindestens ein Viertel des landwirtschaftlichen Gesamtenergieverbrauches dient der Wärmebereitstellung. Damit bestehen größere Reserven zur CO_2-Emissionsminderung bei Verwendung regenerativer Energien (Biomasseverbrennung, Biogaserzeugung, solare Trocknung) sowie durch Einsparungen über Wärmeverlustsenkungen und Reduzierung wärmeintensiver Prozesse (z. B. Trocknen). Prinzipiell könnte die landwirtschaftliche Wärmeanwendung vollständig auf regenerative Quellen umgestellt werden. Aus 1% der landwirtschaftlichen Nutzfläche (170000 ha) könnten 20 bis 30 PJ[1] Wärmeenergie gewonnen werden, d. h. ca. 3 - 5 % der landwirtschaftlich nutzbaren Flächen würden den Eigenbedarf der Landwirtschaft decken. Nach Kaltschmitt [21] könnten von der Stillegungsfläche 1991 (0,78 Mio ha) Festbrennstoffe mit einem Energieertrag von 188 PJ/a bereitgestellt werden. Bei Umwidmung größerer Flächenanteile entstehen damit Potentiale für die Energieversorgung in kommunalen und industriellen Sektoren. Die aktuellen technischen und betriebswirtschaftlichen Gegebenheiten setzen jedoch enge Grenzen. Darüber hinaus wird die Biomasseverbrennung unter ökologischen Gesichtspunkten uneinheitlich beurteilt. Gesicherte Daten für die Bewertung der Umweltverträglichkeit der Biomasseverbrennung sind noch nicht in ausreichendem Maße verfügbar.

Der Humusgehalt deutscher Ackerböden liegt im Bereich 1- 4%. Bei einer Krumenmasse von ca. 4000 t/ha (30 cm Bearbeitungstiefe) entspricht dies Humusgehalten von 40 - 160 t/ha bzw. Kohlenstoffgehalten im Bereich von 20 bis 80 t/ha. Eine Erhöhung des Humusgehaltes um 1% in Deutschland (11,6 Millionen Hektar Ackerfläche) bindet 850 Mt CO_2. Verteilt über einen Zeitraum von z. B. 50 Jahren könnte damit eine Senke mit 17 Mt/a CO_2 entstehen. Eine weitere Senke ist der Übergang auf mehrjährige Pflanzenbestände, z. B. Holzplantagen für die Biomassebereitstellung. Auf deutschen Standorten werden bei Holzplantagen Trockenmasseerträge von 12 t/(ha·a) erzielt [21]. Die Wurzelmasse liegt im Bereich 10 - 20 % der oberirdischen Biomasse. Mit einem C-Anteil von ca. 50 % ergeben sich bei Umtriebszeiten von 3 - 6 Jahren C-Bindungen von 20 - 40 t/ha. Wenn 5% der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf Kurzumtriebsholz umgestellt würden, entstünde ein zusätzliches Kohlenstoffdepot im Bereich von 17 - 34 Mt C bzw. eine Bindung von etwa 60 bis 120 Mt CO_2.

Der Hauptanteil der indirekten landwirtschaftlichen CO_2-Emissionen ist auf die mineralische Düngung (insbesondere Stickstoff) zurückzuführen. Dieser Energieaufwand läßt sich durch teilflächenspezifische Düngung und teilflächenspezifische Pflanzenschutzmaßnahmen reduzieren [22]. Nach groben Schätzungen kann bei gleichen Durchschnittserträgen der Düngungsaufwand um ein Viertel gesenkt werden. Das Reduktionspotential hängt von der Heterogenität der Flächen ab. Diese Größe ist noch nicht ausreichend untersucht, um gesicherte Aussagen für die Landwirtschaft insgesamt abzuleiten. Die moderne landtechnische Entwicklung, die zunehmend auf Informationstechnik beruht und deshalb Ortungssysteme und den kompatiblen Datenaustausch zwischen Schlepper, Gerät und Hofcomputer (Landwirtschaftliches BUS-System LBS , gemäß DIN 9684; [23]) favorisiert, bietet für die künftige Landbewirtschaftung ein bedeutendes Potential zur Emissionsminderung.

Als Lösungswege verbleiben folgende Varianten: optimale Verwendung des Düngers durch ortsspezifische, boden- und pflanzengerechte Ausbringung, stärker auf Leguminosen orientierte Fruchtfolgen und vollständige

[1] mit H_u = 17 MJ/kg TM entspricht dies einem Trockenmasseaufkommen von 7 - 10 t/ha TM (ohne Bereitstellungsenergie)

sowie verlustarme Nutzung des Wirtschaftsdüngers bzw. anfallender biologischer Reststoffe. Durch geeignete Verfahren zur Lagerung und Ausbringung des Wirtschaftsdüngers können Stickstoffverluste bedeutend gesenkt werden [z.B. 24-29]. Ein CO_2-Minderungspotential ist im Düngungsbereich deutlich schwieriger als im Treibstoff- und Heizenergiesektor zu ermitteln. Der Energiepreis wird letztendlich über veränderte Mineraldüngerpreise die Anwendungsintensität bestimmen. Deshalb ist ein Rückgang der mit der mineralischen Düngung verbundenen indirekten CO_2-Emissionen bis auf unter 50 % im Vergleich zur gegenwärtigen Situation langfristig durchaus möglich, wenn es gelingen sollte, den Nährstoffkreislauf über aufbereitete biologische Reststoffe zu schließen.

2.3 Erforderliche Strategien

Grundsätzlich sind für alle aufgezeigten Minderungsmöglichkeiten weitere verfahrenstechnische Untersuchungen sowie detaillierte ökologische und ökonomische Bewertungen auf Basis gesicherter und einheitlich verwendbarer Datensätze nötig. Ebenso besteht Forschungs- und Entwicklungsbedarf für die Einführung marktgerechter Anlagen bzw. vollständiger Prozeßketten. Unbestreitbar ist, daß steigende Kosten für fossile Energieträger Emissionsminderungen nach sich ziehen werden. Eine CO_2-orientierte Energiepreispolitik könnte die Nutzung von Biofestbrennstoffen und Biokraftstoffen beschleunigen.

3 Methan

3.1 Emissionsquellen und Senken

Methan entsteht bei der anaeroben mikrobiellen Zersetzung organischer Substanzen. Methanemissionen treten überall dort auf, wo bei geeigneten Temperatur- und Feuchtebedingungen biologische Stoffe unter Luftabschluß lagern (Moore, überflutete Böden, Deponien, usw.). Die direkten Methanemissionen der Nutztiere, insbesondere der Wiederkäuer, können im Vergleich zu anderen natürlichen und anthropogenen Quellen mit ausreichender Genauigkeit angegeben werden, da in den letzten 25 Jahren zahlreiche Arbeiten auf diesem Gebiet entstanden. Für Deutschland ist 1990 mit einem Wert von 1,4 Mt stoffwechselbedingter Methanemissionen aus der Tierhaltung zu rechnen, die zu 94% von der Rinderhaltung verursacht werden (**Tabelle 3**). Dagegen besteht bei den weiteren Methanquellen im landwirtschaftlichen Bereich eine große Unsicherheit in der Quantifizierung.

Die zweite wesentliche Quelle ist die anaerobe Umsetzung tierischer Exkremente. Die Methanemission hängt von der Haltungsform und Entmistung ab. Weidehaltung führt zu geringeren Emissionen. Flüssigentmistung erhöht die Methanbildungsrate. Als wahrscheinlichster Wert wird in [3] eine durchschnittliche Methanbildung von 10% des Methanbildungspotentials der Exkremente angenommen. Damit beträgt die Emission aus Fäkalien etwa ein Drittel der stoffwechselbedingten Emissionen, wobei hier die Schweine- und Geflügelhaltung zu rund 25% beteiligt sind.

Methan wird überwiegend in der Troposphäre abgebaut. Der Boden kann in Abhängigkeit von vielen Faktoren wie Bodenfeuchte, Porosität, Nährstoffangebot u.a.m. Quelle oder Senke für Methan sein. Sowohl bei den Quellen aus tierischen und pflanzlichen Abfällen als auch hinsichtlich der Senken- und Quelleneigenschaften des Bodens besteht Forschungsbedarf.

3.2 Möglichkeiten der Emissionsminderung

Hauptquelle der Methanemission in Deutschland ist die Rinderhaltung. Etwa 10 bis 12% der Futterenergie werden als Methan freigesetzt. Die tierindividuellen Unterschiede können bei gleicher Futteraufnahme Differenzen bis zu 20% aufweisen [30]. Den größten Einfluß auf die Methanproduktion hat die Futterzusammensetzung. Ein hoher Anteil verdaulicher Kohlehydrate bewirkt vermehrte Methanproduktion. Die Methanabgabe der Tiere wird sowohl vom Grundumsatz als auch von der Tierleistung bestimmt (Mastzunahme bzw. Milchleistung). Der auf die Fleischproduktion bzw. Milchproduktion bezogene spezifische Emissionskoeffizient kann durch Intensivhaltung mit Hochleistungsrassen gesenkt werden. Hinsichtlich der Methanemission ist es also günstiger, mit einem reduzierten, dafür aber leistungsfähigeren Tierbestand die erforderlichen Fleisch- und Milchmengen zu produzieren. Insgesamt ist die Emissionsminderung proportional zur Abnahme der Tierbestände. Eine deutliche Veränderung ist infolge der heutigen Ernährungsgewohnheiten in naher Zukunft nicht zu erwarten.

Die Form der Tierhaltung und Entmistung bestimmt die Methanfreisetzung aus den Exkrementen. Die höchste Methanbildung hat man bei der Stallhaltung mit Flüssigentmistung.

Tabelle 3: CH_4-Freisetzungsraten 1990 in der deutschen Landwirtschaft durch die Tierhaltung
Table 3: CH_4-generation due to animal husbandry within German agriculture in 1990

Quelle	Zahl der Tiere (in Millionen) [1]	spezifische stoffwechselbedingte CH_4-Emission (in kg pro Tier u. Jahr)	stoffwechselbedingte CH_4-Emission (in kt/a)	spezifisches CH_4-Emissionspotential[7] aus Exkrementen (in kg pro Tier u. Jahr)	CH_4-Emissionspotential[7] aus Exkrementen (in kt/a)
Rinder	19,489	68[2]	1 325	161,7	3151
Schweine	30,819	1,15[3]	35	32	986
Geflügel	106,054	0,09[4]	10	2,4	255
Pferde	0,491	18[5]	9	221,8	109
Schafe	3,240	10,5[6]	34	23,6	76
Emission gesamt			1 413		458[8]

[1] Dezemberzählung 1990, Statistisches Jahrbuch 1993 [55];
[2] Nach [30] bestimmter Mittelwert für die Rinderpopulation Dezemberzählung 1990;
[3] Nach [31]; [4] Nach [3]; [5] Nach [32] und [33]; [6] Nach [30];
[7] Nach [3] Grobschätzung zum Emissionspotential (Methanausbeute bei vollständiger Methanisierung);
[8] Emission unter der Annahme, daß 10% der Exkremente anaerob umgesetzt werden (wahrscheinlichste Annahme [3]).

Die Gülle müßte eigentlich gerührt werden, um Methanemissionen herabzusetzen. Dagegen spricht, daß dabei erhebliche Stickstoffverluste in Form von Ammoniakfreisetzung auftreten, die den Düngerwert der Gülle herabsetzen und gleichfalls die Atmosphäre belasten. Als bester Kompromiß wird gegenwärtig eine kühle, abgedeckte Lagerung angesehen. Auch das Auffangen der bei der Güllelagerung entstehenden Gase und ihre energetische Nutzung senkt die Methanemissionen aus der Tierhaltung.

Gülle fällt kontinuierlich an, düngen sollte man den Boden nur an einigen geeigneten Zeitpunkten. In Abhängigkeit von der Relation des Düngungsbedarfes zum Tierbestand können Heißfermentationsverfahren [24] oder Biogasanlagen, in denen tierische und pflanzliche Abfälle verwertet werden, Lösungen sein, die effizient zur Emissionsminderung beitragen. Allerdings besteht noch Forschungsbedarf, um optimale Haltungsformen unter betriebswirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten zu entwickeln.

3.3 Erforderliche Strategien

Als Konsequenz folgt, langfristig muß der pflanzliche Anteil in der Ernährung wieder zunehmen, um die Methanemission pro Kopf dauerhaft senken zu können. Ein Preisanstieg fossiler Energieträger bzw. eine „CO_2-Steuer" würde der Biogasgewinnung Auftrieb erteilen, und damit die bei der Lagerung tierischer Exkremente auftretende Methanfreisetzung verringern. Da anzunehmen ist, daß der Bedarf an Milch und Milchprodukten unverändert bestehen bleibt, also die Milchproduktion die gleiche Größenordnung behält, ist die erforderliche Strategie in der Rinderhaltung die züchterische Weiterentwicklung in Richtung gesteigerter Tierleistungen. Für die Agrartechnik folgt die Notwendigkeit, die Forschung und Entwicklung einer emissionsarmen und die Inhaltsstoffe erhaltenden Technologie für Lagerung und Ausbringung fortzuführen.

4 Lachgas

4.1 Emissionsquellen und Senken

Als sicher gilt, daß Lachgas bei der mikrobiellen Umsetzung von Nitrat und Ammonium im Boden und in Gewässern entsteht. Damit bildet die Denitrifikation bzw. Nitrifikation die Hauptquelle sowohl für den natürlichen als auch für den anthropogen bedingten Eintrag in die Atmosphäre. Abschätzungen zur Lachgasfreisetzung in Deutschland [3] weisen für die Landwirtschaft einen Wert von 71 bis 83 kt/a aus. Als indirekter Beitrag sollen 11 kt/a über die Ammoniakemission aus landwirtschaftlichen Abfällen gefolgt vom Bodeneintrag bei Niederschlägen und anschließender Nitrifikation gebildet werden. Zu beachten ist, daß jeglicher Stickstoffeintrag in den Boden zur Aktivierung der Lachgasbildung beiträgt, also auch die Nitrationen in den Niederschlägen oder der durch Leguminosen gebundene Stickstoff.

Nach neueren Auffassungen wurde in der Vergangenheit die Lachgasbildung bei Verbrennungsprozessen überbewertet [34], so daß im Bereich der Landwirtschaft als wesentlicher Prozeß für die Lachgasbildung nur die Düngung und die Ammoniakfreisetzung verbleiben. Die Mineralisation organischer Stoffe außerhalb des Bodens,

wie z. B. das Kompostieren, führt ebenfalls zur Lachgasbildung. Nach ersten experimentellen Befunden scheint dieser Anteil im Vergleich zur Bildungsrate aus der Düngung vernachlässigbar zu sein, da beim Kompostieren nur etwa 1% des Stickstoffs in der Rotte als Lachgas entweicht [35].

Wintzer [36] berichtet anhand der Literaturauswertung über N_2O-Freisetzungsraten im Bereich von 0,001% bis 2,5% des gedüngten Stickstoffs, wobei der Maisanbau die höchsten Werte aufweist. Eine weitere, durch den Landbau verursachte Quelle ist die Verstärkung der Lachgasemissionen aus nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen und Gewässern infolge der Auswaschung von Stickstoff (hauptsächlich als Nitrat). Bei der durchschnittlichen Nitratauswaschung wird in Deutschland mit 20 bis 60 kg N/(ha•a) gerechnet [37]. Unsachgemäße Düngung kann die Auswaschungen drastisch verstärken. Weiterhin tragen die Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung über den Niederschlag zur Stickstoffbelastung von Boden und Gewässern bei. In Niedersachsen wurden Stickstoffdepositionen aus der Luft im Bereich um 15 kg N/(ha•a) beobachtet [38]. Nach den Daten aus dem Meßnetz des Umweltbundesamtes [39] werden über den Niederschlag durchschnittlich pro Jahr und Hektar 6 kg NH_4^+ und 18 kg NO_3^- eingetragen. Das entspricht einem Stickstoffanteil von etwa 10 kg N bei den Naßdepositionen. Trockendepositionen ergeben einen weiteren Eintrag von ca. 8 bis 15 kg N/(ha•a) [40]. Wendland nennt als Durschnittswert für die Fläche der Bundesrepublik eine Stickstoffdeposition von 32 kg N/(ha•a) [41]. In Gebieten mit hohen Tierbestandszahlen treten deutlich höhere Stickstoffeinträge aus der Luft auf.

4.2 Möglichkeiten der Emissionsminderung

Das Herabsetzen der Lachgasemissionen (**Bild 2**) aus landwirtschaftlich genutzten Flächen ist in Verbindung mit einer bedarfsgerechten Düngung möglich, bei der die lokale Variation des Bodens (Typ, Versorgungszustand, Feldkapazität, etc.), der Zeitpunkt (Pflanzenentwicklung und Fruchtart) und die Witterung eingehen. In der traditionellen Feldbewirtschaftung wird die mit einer Frucht zu bestellende Fläche einheitlich behandelt. Ortsspezifische Düngung bedeutet, die Bezugsfläche für die Bedarfsermittlung zu verkleinern und auf lokale Änderungen bis zu einer Auflösung von etwa fünf Meter zu reagieren. Das erfordert eine wesentlich präzisierte

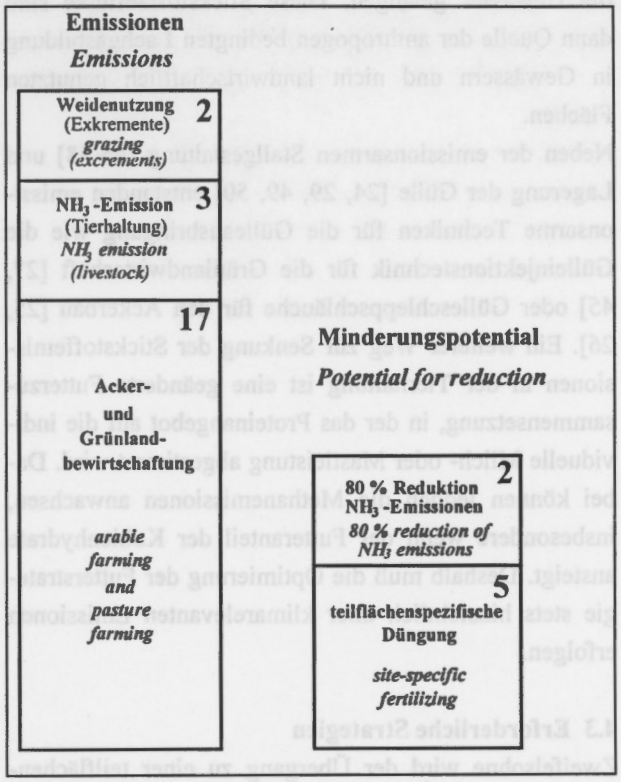


Bild 2: Lachgasemissionen und Minderungsmöglichkeiten (in Mt/a CO_2-Äquivalent)

Fig. 2: Emissions of nitrous oxide and posibilities for reduction (in Mt/a CO_2 equivalence)

Düngungstechnik, die entweder über geeignete Sensoren das Dosieren on-line steuert oder die mit Hilfe von Ortungssystemen und elektronischen Feldkarten die Ausbringung kontrolliert. Diese Entwicklung ist insgesamt noch Forschungsgegenstand. Obwohl es bereits jetzt Lösungsansätze für Bodenstickstoffsensoren gibt [42], hat die on-line Dosierung noch einen weiten Weg bis zur Praxistauglichkeit zurückzulegen. Die Praxisnähe der satellitengesteuerten ortsspezifischen Landbewirtschaftung ist dagegen bereits erreicht [22, 43, 44]. In Abhängigkeit von der Heterogenität der Schläge könnte das durchschnittliche Düngungsniveau gesenkt werden bzw. mit gleichem Düngereinsatz wären höhere Erträge zu erzielen. Das bedeutet nicht nur eine Abnahme der Lachgasemissionen, sondern auch eine deutliche Reduktion des Austragungspotentials über das Oberflächen- bzw. Grundwasser.

Ein weiteres Potential zur Emissionsminderung besteht in der optimalen Lagerung und Ausbringung des Wirtschaftsdüngers. Hier treten Stickstoffverluste im Bereich von 20 bis 60% auf [45], die vorwiegend als Ammoniak an die Atmosphäre abgegeben werden oder als Nitrat in

die Gewässer gelangen. Diese Stickstoffabflüsse sind dann Quelle der anthropogen bedingten Lachgasbildung in Gewässern und nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Neben der emissionsarmen Stallgestaltung [46-48] und Lagerung der Gülle [24, 29, 49, 50] entstanden emissionsarme Techniken für die Gülleausbringung wie die Gülleinjektionstechnik für die Grünlandwirtschaft [27, 45] oder Gülleschleppschläuche für den Ackerbau [25, 26]. Ein weiterer Weg zur Senkung der Stickstoffemissionen in der Tierhaltung ist eine geänderte Futterzusammensetzung, in der das Proteinangebot auf die individuelle Milch- oder Mastleistung abgestimmt wird. Dabei können jedoch die Methanemissionen anwachsen, insbesondere wenn der Futteranteil der Kohlenhydrate ansteigt. Deshalb muß die Optimierung der Futterstrategie stets hinsichtlich aller klimarelevanten Emissionen erfolgen.

4.3 Erforderliche Strategien

Zweifelsohne wird der Übergang zu einer teilflächen- bzw. ortsspezifischen Düngung die Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft reduzieren. Gleichzeitig würden damit neue Möglichkeiten zur definierten Buchführung über Stoffeinträge in den Boden eröffnet. Gegenwärtig muß z. B. der Klärschlammeintrag dokumentiert werden. In Anbetracht der Diskussion zum Grundwasser wäre langfristig die flächendeckende Kontrolle aller Stoffe, die zielgerichtet ausgebracht werden, erforderlich. Das setzt eine einheitliche Regelung mindestens im europäischen Maßstab voraus. Die europäische Überproduktionskapazität von pflanzlichen und tierischen Erzeugnissen für den Lebensmittelbereich trägt mittelbar zur verstärkten Lachgasemission bei. Eine Analyse der bestehenden und langfristig möglichen marktwirtschaftlichen bzw. legislativen Regelungen für den Agrarbereich hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die europäischen und globalen klimarelevanten Emissionen könnte neue Impulse für eine zukunftsorientierte Entwicklung der Landwirtschaft geben.

5 Ammoniak

5.1 Emissionsquellen und Senken

Quellen für Ammoniak sind die tierischen Exkremente. Aus dem Harnstoff der Tierfäkalien wird mikrobiell NH_4^+ gebildet, das dann als NH_3 entweicht. Die globalen NH_3-Emissionen werden auf 30 bis 45 Mt/a geschätzt. In Deutschland liegen die geschätzten Emissionen etwa im Bereich von 0,8 bis 1,2 Mt/a, wovon mehr als 90% aus der Tierhaltung und der Rest aus der Mineraldüngeranwendung sowie aus industriellen Quellen stammen sollen [1, 2, 51, 52]. Von den Gesamtemissionen in Deutschland werden 70% der Rinderhaltung und 15% der Schweinehaltung zugeschrieben, 5% verteilen sich auf die Geflügel-, Pferde- und Schafhaltung. Dabei entweichen 15% direkt aus den Ställen, 15% entstammen der Gülle- bzw. Dunglagerung, 25% entstehen durch die Weidehaltung und 35% sollen durch die Ausbringung des Wirtschaftsdüngers freigesetzt werden (**Bild 3**) [53].

NH_3 wird durch Niederschläge aus der Troposphäre ausgewaschen, ein geringerer Teil führt unter Abbau des atmosphärischen SO_2 zur Bildung von Ammoniumsulfat-Aerosolen bzw. wird auf anderen, photochemischen Wegen abgebaut. Die zeitlichen und örtlichen Konzentrationen variieren sehr stark. Die NH_3-Konzentration weist einen Tagesgang im Bereich 1...10 $\mu g/m^3$ auf [54]. In der Nähe größerer Tierkonzentrationen ist der Ammoniakgehalt der Luft deutlich höher.

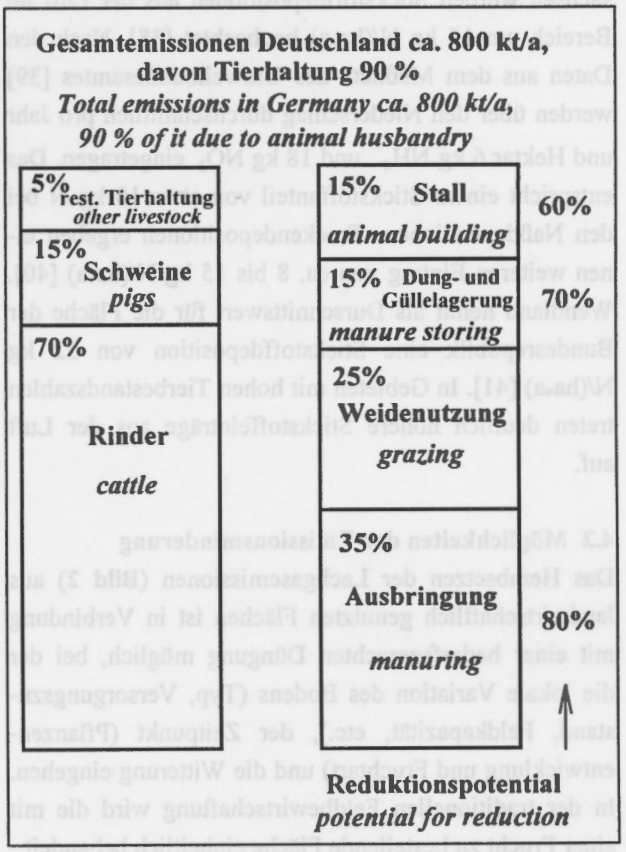


Bild 3: Schätzwerte zu den Ammoniakemissionen und Reduktionsmöglichkeiten

Fig. 3: Estimated values of ammonia emissions and of possibilities for reduction

5.2 Möglichkeiten der Emissionsminderung

Ammoniak ist gut wasserlöslich und hat bei Normaltemperatur einen hohen Dampfdruck (Siedepunkt unter Normaldruck bei -33,4°C). Die NH_3-Freisetzung aus der Lösung steigt bei pH-Werten größer acht stark an, da dann das Lösungsgleichgewicht zuungunsten des NH_4^+ verschoben wird. Deshalb läßt sich die Emissionsrate durch Ansäuern der Gülle senken. Mit steigender Temperatur und Kontaktfläche zur Luft wächst die NH_3-Emissionsrate. Deshalb verringern streulose Haltungsformen, schmale Güllekanäle, schnelle Gülleentfernung sowie ausreichende Stallhygiene die NH_3-Freisetzung aus den Stallgebäuden. Aber auch geeignete Festmistverfahren, bei der die emittierende Oberfläche zur Luft niedrig bleibt (Tiefstreuhaltung) sind emissionsmindernd. Abgedeckte, kühle Lagerung der Gülle bzw. des Dungs hemmt die Ammoniakfreisetzung. Stallüftungssysteme beeinflussen die NH_3-Emissionen, denn niedrige Temperaturen bzw. optimierte Stallklimaregelung, geringe Stömungsgeschwindigkeiten und verbesserte Luftführung setzen die Emission herab. Biofilter oder Naßfilter können den Gehalt der Abluft an Ammoniak und Geruchskomponenten mindern.

Die Art der Ausbringung des Wirtschaftsdüngers beeinflußt wesentlich die Ammoniakfreisetzung. Die wichtigen Parameter sind Temperatur, Wechselwirkungsfläche zur Luft und Zeitdauer des Luftkontaktes. Unter Umständen kann in wenigen Stunden der Ammoniakvorrat ausgasen. Die Stickstoffverluste liegen bei der Prallteller-Ausbringung durchschnittlich bei 60%, bei der Einarbeitung sinken sie unter 5%. Deshalb sind alle Ausbringungstechniken emissionsmindernd, bei denen der Dünger mit der Verteilung sofort in den Boden gelangt. Dazu zählen Gülleninjektionsverfahren, der Gülledrill oder die Schleppschlauchtechnik.

Ein weiterer Weg zur Emissionsminderung ist das Halten von Hochleistungsrassen mit leistungsgerechter Fütterung, um den grundumsatzbedingten Anteil der Exkremente zu senken, sowie die proteinreduzierte Fütterung, die den Stickstoffgehalt der Fäkalien verringert. Die Ammoniakfreisetzung bei der Weidehaltung ist nicht direkt beeinflußbar, es sei denn durch Reduzieren des Tierbestandes oder Verzicht auf den Weidebetrieb.

5.3 Erforderliche Strategien

Über Bauvorschriften für Ställe, in denen emissionsreduzierende Lüftungssysteme, Filteranlagen und Dung- bzw. Güllehandhabung festgelegt sind, kann die Emissionsrate aus neuen Ställen gesenkt werden. Für alte Stallanlagen müßten angepaßte Nachrüstungsfristen gesetzt werden. Da Biogasanlagen bzw. andere geeignete Behandlungsverfahren sowohl die Freisetzung von Methan als auch von Ammoniak in die Umgebungsluft deutlich herabsetzen, sollten alle Betriebe mit großen Tierzahlen damit ausgestattet sein. Die damit verbundenen Zusatzkosten hemmen gegenwärtig eine breite Nutzung von Biogasanlagen.

Unter dem Aspekt Emissionsminderung ist das Verringern des Tierbestandes der langfristig richtige Weg. In der agrartechnischen Forschung und Entwicklung muß weiterhin an Fragen der Emissionsreduzierung in Stallanlagen, bei Gülle- bzw. Dunglagern und bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger gearbeitet werden, um wirksame und insbesondere kostengünstige Lösungen für den Landwirt bereitzustellen.

6 Schlußfolgerungen

Verbesserte Düngungstechniken in Verbindung mit konsequenten Düngungsvorschriften reduzieren die Kohlendioxid- und Lachgasemission sowie andere Umweltbelastungen. Es besteht weiterhin Bedarf für Forschung und Entwicklung, um marktfähige Lösungen einführen zu können, die die Umweltwirkungen des Düngens verringern.

Das CO_2-Minderungspotential durch weitere Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades der Landtechnik und durch geänderte Bodenbearbeitungs- und Bestelltechniken ist im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Emissionen gering.

Die energetische Nutzung von Biofestbrennstoffen ermöglicht eine vergleichsweise wirtschaftliche Erschließung eines bedeutenden Beitrages zur CO_2-Emissionssenkung aus der Landwirtschaft. Dezentrale Bereitstellung kann mit dezentraler Energiegewinnung verknüpft werden. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht hinsichtlich kostengünstiger und feuerungstechnisch sowie emissionsmäßig optimierter Verbrennungstechnologien für Biofestbrennstoffe.

Die Tierhaltung ist gegenwärtig zu mehr als 50 % an den Emissionen klimawirksamer Gase aus der landwirtschaftlichen Produktion beteiligt. Ein bedeutender Teil dieser Emissionen kann durch geeignete technische Lösungen und Verfahren der Stallklimatisierung, der Gülle- und Dungbehandlung, der Lagerung und der Ausbringung vermindert werden.

Die Biomethanisierung von pflanzlichen und tierischen Abfällen mit betrieblicher Verwendung der Biogasenergie setzt die landwirtschaftlichen Emissionen herab.

Biogasanlagen werden kommerziell angeboten, der Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist gering und zielt auf die optimale Methanbildung bei verschiedenen Substratzusammensetzungen.

Die direkten und indirekten Emissionen der Landwirtschaft werden über den Energiepreis beeinflußt. Ein deutlicher Preisanstieg fossiler Energieträger würde eine Neuorientierung der Landbewirtschaftung erzwingen und zur Emissionsminderung beitragen. Ähnliche Wirkungen könnte eine CO_2-Steuer zeigen, die jedoch weltweit oder zumindest im europäischen Raum durchsetzbar sein müßte.

Literatur

[1] NN 1994: Schutz der Grünen Erde - Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder, Dritter Bericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre" des 12. Deutschen Bundestages (Hrsg.), Economica Verlag, Bonn 1994

[2] Ahlgrimm, H.-J. u. U. Dämmgen: Beitrag der Landwirtschaft zur Emission von klimarelevanten Spurengasen, in: Klimaveränderungen und Landbewirtschaftung Teil II, H. Brunnert u. U. Dämmgen (Hrsg.), Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 148, FAL Braunschweig-Völkenrode 1994, S. 75-106

[3] Schön, M. u. R. Walz (Projektleitung): Emissionen der Treibhausgase Distickstoffoxid und Methan in Deutschland, Umweltbundesamt (Hrsg.) Forschungsbericht 104 02 682 UBA-FB 93-121, Erich Schmidt Verlag Berlin, 1993

[4] NN 1990: Deutscher Bundestag, Referat Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.): Schutz der Erde: Eine Bestandsaufnahme mit Vorschlägen zu einer neuen Energiepolitik , 3. Bericht der Enquete-Kommission des 11. Deutschen Bundestages "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre", Bonn, 1990

[5] Fritsche U., J. Leuchtner, F. C. Matthes, L. Rausch u. K.-H. Simon: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 2.0, Endbericht, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (Hrsg.), Wiesbaden 1993

[6] Oheimb, R. von, J. Ponath, G. Prothmann, Ch. Sergeois, U. Werschnitzky, H. Willner: Energie und Agrarwirtschaft, KTBL-Schrift 320, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup 1987

[7] Scholz, V.: Energieproduktivität der deutschen Agrarwirtschaft, Landtechnik 48 (1993) 406-408

[8] Scholz, V. u. P. Kaulfuß: Energiebilanz für Biofestbrennstoffe, Forschungsbericht ATB 1995/3 (unveröffentlicht)

[9] BMWi 1992: Energiedaten 1991 - Nationale und internationale Entwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.), Bonn 1992

[10] Hesselbach, J. (verantw. Bearbeiter), Gesamtbilanz Energie 1990 - Wirtschaftsraum der fünf neuen Länder in der Bundesrepublik Deutschland, IfE Leipzig GmbH (Hrsg.), Leipzig 1991, 165 S.

[11] Smukalski, M, J. Rogasik u. K.-J. Künkel: Landbau und Treibhauseffekt - CO_2-Umsatz bei unterschiedlicher Intensität der Landbewirtschaftung, Landbauforschung Völkenrode 42 (1992) H.2, 55-61

[12] Batel W., M. Graef, G.-J. Mejer, R. Möller u. F. Schoedder: Pflanzenöle für die Kraftstoff- und Energieversorgung, Grundl. Landtechnik 30 (1980) 40-51

[13] Munack, A., J. Krahl u. G. Vellguth: Rapsöl als Energieträger (Kraftstoff und Brennstoff) und Schmieröl - Technische und logistische Aspekte, Umweltwirkungen sowie Verwertung und Entsorgung von Reststoffen und gebrauchten Produkten. Abschlußbericht zum BML-Forschungsvorhaben 90 NR 001, 1992

[14] Krahl, J.: Bestimmung der Schadstoffemission von landwirtschaftlichen Schleppern beim Betrieb mit Rapsmethylester im Vergleich zu Dieselkraftstoff, VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 15, Nr. 110, VDI-Verlag Düsseldorf 1993, 113 S.

[15] Carmen 1994: Fachgespräch Emissionen von Pflanzenöl-Kraftstoffen und ihre Umweltwirkungen, Würzburg 11. Januar 1994, Tagungsband

[16] Reinhardt, G. A.: Energie- und CO_2- Bilanzierung Nachwachsender Rohstoffe, Vieweg-Verlag Braunschweig 1993

[17] Munack, A., J. Krahl u. G. Vellguth: RME-Einsatz in Traktoren - eine Bewertung, Landtechnik 48 (1993) 412-415

[18] Krahl, J., G. Vellguth, A. Munack, K. Stalder u. M. Bahadir: Umweltwirkungen beim Einsatz von Rapsölkraftstoffen, Forschungsreport des BML 1994, H. 10, S. 3-5

[19] Breitschuh, G., T. Graf u. A. Vetter: Standpunkt zur Alternativen Verwertung von Raps, LUFA Thüringen, Jena 1993

[20] Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökologische Bilanz von Rapsöl bzw. Rapsölmethylester als Ersatz für Dieselkraftstoff (Ökobilanz Rapsöl), Texte 4/93, Berlin 1993

[21] Kaltschmitt, M.: Energieträgerproduktion auf pflanzlicher Basis, Landtechnik 48 (1993) 400-406

[22] Auernhammer, H., M. Demmel, J. Rottmeier u. T. Muhr: Future Developments for Fertilizing in Germany, ASAE Paper No. 911040, 1991

[23] KTBL 1993: Landwirtschaftliches BUS-System - LBS, KTBL-Arbeitspapier 196, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt 1993

[24] Hahne, J. u. F. Schuchardt: Güllebehandlung zur Nährstoffentlastung und Emissionsminderung, Landtechnik 49 (1994) 215-216

[25] Kowalewski, H.-H.: Gülleausbringung heute - Stand der Technik bei Güllewagen, Landtechnik 49 (1994) 60-62

[26] Grieser, F.: Flüssigmist-Tankwagen mit Schleppschlauchverteiler, Landtechnik 49 (1994) 65-66

[27] Walter, A.: Gülleinjektion in Grünland, Landtechnik 49 (1994) 67-69

[28] Käck, M., J. Beck u. T. Jungbluth: Low emission waste management by separating and composting, paper 94-B-023, Proceedings AgEng 94, S. 153-154, Mailand 1994

[29] Williams D. W. u. P. Doughty: Anaerobic treatment of flushed dairy manure for pollution control and energy recovery, paper 94-E-013, Proceedings AgEng 94, S. 406-407, Mailand 1994

[30] Ahlgrimm, H.-J. u. D. Gädeken: Methan (CH_4), in: Klimaveränderungen und Landbewirtschaftung Teil I, D. Sauerbeck u. H. Brunnert (Hrsg.), Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 117, FAL Braunschweig-Völkenrode 1990, S. 28-56

[31] Christensen, K. u. G. Thorbek: Methane excretion in the growing pig, Brit. Journal of Nutrition, 57 (1987) 355-361

5.2 Möglichkeiten der Emissionsminderung

Ammoniak ist gut wasserlöslich und hat bei Normaltemperatur einen hohen Dampfdruck (Siedepunkt unter Normaldruck bei -33,4°C). Die NH_3-Freisetzung aus der Lösung steigt bei pH-Werten größer acht stark an, da dann das Lösungsgleichgewicht zuungunsten des NH_4^+ verschoben wird. Deshalb läßt sich die Emissionsrate durch Ansäuern der Gülle senken. Mit steigender Temperatur und Kontaktfläche zur Luft wächst die NH_3-Emissionsrate. Deshalb verringern streulose Haltungsformen, schmale Güllekanäle, schnelle Gülleentfernung sowie ausreichende Stallhygiene die NH_3-Freisetzung aus den Stallgebäuden. Aber auch geeignete Festmistverfahren, bei der die emittierende Oberfläche zur Luft niedrig bleibt (Tiefstreuhaltung) sind emissionsmindernd. Abgedeckte, kühle Lagerung der Gülle bzw. des Dungs hemmt die Ammoniakfreisetzung. Stallüftungssysteme beeinflussen die NH_3-Emissionen, denn niedrige Temperaturen bzw. optimierte Stallklimaregelung, geringe Stömungsgeschwindigkeiten und verbesserte Luftführung setzen die Emission herab. Biofilter oder Naßfilter können den Gehalt der Abluft an Ammoniak und Geruchskomponenten mindern.

Die Art der Ausbringung des Wirtschaftsdüngers beeinflußt wesentlich die Ammoniakfreisetzung. Die wichtigen Parameter sind Temperatur, Wechselwirkungsfläche zur Luft und Zeitdauer des Luftkontaktes. Unter Umständen kann in wenigen Stunden der Ammoniakvorrat ausgasen. Die Stickstoffverluste liegen bei der Prallteller-Ausbringung durchschnittlich bei 60%, bei der Einarbeitung sinken sie unter 5%. Deshalb sind alle Ausbringungstechniken emissionsmindernd, bei denen der Dünger mit der Verteilung sofort in den Boden gelangt. Dazu zählen Gülleninjektionsverfahren, der Gülledrill oder die Schleppschlauchtechnik.

Ein weiterer Weg zur Emissionsminderung ist das Halten von Hochleistungsrassen mit leistungsgerechter Fütterung, um den grundumsatzbedingten Anteil der Exkremente zu senken, sowie die proteinreduzierte Fütterung, die den Stickstoffgehalt der Fäkalien verringert. Die Ammoniakfreisetzung bei der Weidehaltung ist nicht direkt beeinflußbar, es sei denn durch Reduzieren des Tierbestandes oder Verzicht auf den Weidebetrieb.

5.3 Erforderliche Strategien

Über Bauvorschriften für Ställe, in denen emissionsreduzierende Lüftungssysteme, Filteranlagen und Dung- bzw. Güllehandhabung festgelegt sind, kann die Emissionsrate aus neuen Ställen gesenkt werden. Für alte Stallanlagen müßten angepaßte Nachrüstungsfristen gesetzt werden. Da Biogasanlagen bzw. andere geeignete Behandlungsverfahren sowohl die Freisetzung von Methan als auch von Ammoniak in die Umgebungsluft deutlich herabsetzen, sollten alle Betriebe mit großen Tierzahlen damit ausgestattet sein. Die damit verbundenen Zusatzkosten hemmen gegenwärtig eine breite Nutzung von Biogasanlagen.

Unter dem Aspekt Emissionsminderung ist das Verringern des Tierbestandes der langfristig richtige Weg. In der agrartechnischen Forschung und Entwicklung muß weiterhin an Fragen der Emissionsreduzierung in Stallanlagen, bei Gülle- bzw. Dunglagern und bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger gearbeitet werden, um wirksame und insbesondere kostengünstige Lösungen für den Landwirt bereitzustellen.

6 Schlußfolgerungen

Verbesserte Düngungstechniken in Verbindung mit konsequenten Düngungsvorschriften reduzieren die Kohlendioxid- und Lachgasemission sowie andere Umweltbelastungen. Es besteht weiterhin Bedarf für Forschung und Entwicklung, um marktfähige Lösungen einführen zu können, die die Umweltwirkungen des Düngens verringern.

Das CO_2-Minderungspotential durch weitere Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades der Landtechnik und durch geänderte Bodenbearbeitungs- und Bestelltechniken ist im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Emissionen gering.

Die energetische Nutzung von Biofestbrennstoffen ermöglicht eine vergleichsweise wirtschaftliche Erschließung eines bedeutenden Beitrages zur CO_2-Emissionssenkung aus der Landwirtschaft. Dezentrale Bereitstellung kann mit dezentraler Energiegewinnung verknüpft werden. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht hinsichtlich kostengünstiger und feuerungstechnisch sowie emissionsmäßig optimierter Verbrennungstechnologien für Biofestbrennstoffe.

Die Tierhaltung ist gegenwärtig zu mehr als 50 % an den Emissionen klimawirksamer Gase aus der landwirtschaftlichen Produktion beteiligt. Ein bedeutender Teil dieser Emissionen kann durch geeignete technische Lösungen und Verfahren der Stallklimatisierung, der Gülle- und Dungbehandlung, der Lagerung und der Ausbringung vermindert werden.

Die Biomethanisierung von pflanzlichen und tierischen Abfällen mit betrieblicher Verwendung der Biogasenergie setzt die landwirtschaftlichen Emissionen herab.

[32] Crutzen, P. J., I. Aselmann u. W. Seiler: Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans, Tellus (1986) 38B, 271-284

[33] Kirchgessner, M.: Tierernährung, DLG-Verlag Frankfurt, 6. Auflage 1985

[34] Enquete 1992: Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung, Erster Bericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre" des 12. Deutschen Bundestages (Hrsg.), Verlag C. F. Müller, Bonn 1992

[35] Hellebrand, H. J.: Grünlandökosysteme - Eine Diskussion zu Stoffströmen und Reststoffverwertung, Landtechnik 48 (1993) 655-657

[36] Wintzer, D., B. Fürniß, S. Klein-Vielhauer, L. Leible, E. Nieke, Ch. Rösch, u. T. Tangen.: Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe, Schriftenreihe des BML, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Landwirtschaftsverlag Münster 1993

[37] Isermann, K.:Forschungsbedarf - sich ergebend aus der Stickstoffbilanzierung/Verlustgefährdungsabschätzung der Landwirtschaft, in „Bodenbelastung und Wasserhaushalt", Berichte aus der ökologischen Forschung, Band 7/1992, FZ Jülich, S.68-101

[38] Dämmgen, U., L. Grünhage, A. Küsters u. H.-J- Jäger: Das chemische Klima (II): Vertikale Flüsse sedimentierender Partikel, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 128, 1992, S. 188-200

[39] Umweltbundesamt (Hrsg.): Monatsberichte aus dem Meßnetz 7/93 u. 1/94, Berlin 1993 u. 1994

[40] Umweltbundesamt (Hrsg.): Depositionen von Luftverunreinigungen in der Bundesrepublik Deutschland, Berichte 4/85, Erich Schmidt Verlag Berlin 1985

[41] Wendland, F.: Nitrat im Grundwasser der „alten" Bundesländer, Berichte aus der ökologischen Forschung, FZ Jülich, Bd. 8 1992, S.149

[42] Adsett, J. F. u. G. C. Zoerb: Automated Field Monitoring of Soil Nitrate Levels, ASAE Symposium „Automated Agriculture for the 21st Century" Chicago 1991, Proceedings 326-335

[43] Ehlert, D.: Stand der Technik und Forschungsaufgaben zur kleinräumigen Bestandesführung, in KTBL Arbeitspapier 214 „Technik für die kleinräumige Bestandesführung", Darmstadt 1995, S. 50-57

[44] Beuche, H. u. H. J. Hellebrand: Hybrides Ortungssystem, in KTBL Arbeitspapier 214 „Technik für die kleinräumige Bestandesführung", Darmstadt 1995, S. 67-74

[45] Walter, A., H. D. Kutzbach, T. Mannheim, K. Stahe u. H.-G. Kunz: Auswirkung eines Gülleinjektors auf Grünland, Landtechnik 50, H. 3 1995, S. 146-147

[46] Oldenburg, J.: Abluftreinigung in der Tierhaltung - Planungsgrundlagen, Landtechnik 47 (1992) 183-185

[47] Hügle. T. u. D. Mannebeck: Biofilter - Stoffliche Umsetzungen und Probleme, Landtechnik 48 (1993) 569-571

[48] Hartung, E., M. Keck u. W. Büscher: Ammoniakemissionen aus Stallanlagen - Zum Einfluß der Luftführung, Landtechnik 49 (1994) 74-75

[49] AID 1991: Gülle - ein wertvoller Wirtschaftsdünger, Heft 1149, Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V., Bonn 1991

[50] AID 1994: Fachgerechte Stickstoffdüngung schätzen, kalkulieren, messen: Heft 1017, Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V., Bonn 1994

[51] Friedrich, A.: Der Anteil der Landwirtschaft an der Gesamtbelastung der Luft, in: Stoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Atmosphäre - Strategien zur Minderung, DLG - Arbeitsunterlagen 1991, S. 5-11

[52] Burdick, B.: Klimaänderung und Landbau, Verlag C. F. Müller GmbH, Heidelberg 1994, 448 S.

[53] Amberger, A. u. R. Gutser: NH_3-Einträge der Landwirtschaft aus organischen und mineralischen Düngern sowie Strategien zur Minderung, in: Stoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Atmosphäre - Strategien zur Minderung, DLG-Arbeitsunterlagen 1991, S. 88-96

[54] Grünhage, L., U. Dämmgen u. H.-J. Jäger: Das chemische Klima (I): Konzentrationen in der Umgebungsluft, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 128, 1992, S. 135-187

[55] Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 1993, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup 1993