

TEXTE

39/2013

Landwirtschaftliche Emissionen

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 206 43 200/01
UBA-FB 001524/ANH,1

Landwirtschaftliche Emissionen

**Teilbericht zum F&E-Vorhaben „Strategien zur
Verminderung der Feinstaubbelastung - PAREST“**

von

**Ulrich Dämmgen
Hans-Dieter Haenel
Claus Rösemann
Jochen Hahne**

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Braunschweig

**Brigitte Eurich-Menden
Ewald Grimm
Helmut Döhler**

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL),
Darmstadt

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.uba.de/uba-info-medien/4514.html>
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) Institut für Agrarrelevante Klimaforschung Bundesallee 50 38116 Braunschweig
Abschlussdatum:	Juli 2008
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/
Redaktion:	Fachgebiet II 4.1 Grundsatzfragen der Luftreinhaltung Johanna Appelhans

Dessau-Roßlau, Juni 2013

Inhaltsübersicht

1	Ammoniak-Emissionen aus landwirtschaftlichen Produktionssystemen und ihre Quantifizierung	7
1.1	Die Bedeutung von Ammoniak für die Bildung von Feinstaub	7
1.2	Ammoniak-Quellen	8
1.2.1	Mineraldünger	9
1.2.2	Pflanzen als NH ₃ -Quellen	9
1.2.3	Wirtschaftsdünger	9
1.3	Die Modellierung von NH ₃ -Emissionen im deutschen Emissionsinventar	10
1.4	Die Notwendigkeit der gleichzeitigen Beschreibung von Ammoniak-Emissionen und Treibhausgas-Emissionen	10
1.5	Literatur	11
2	Projektionen 2010 und 2020	12
2.1	Entwicklung der Aktivitäten	12
2.1.1	Mineraldünger	12
2.1.1.1	Mineraldünger-Absatz	
2.1.1.2	Mineraldünger-Anwendung	12
2.1.2	Tierzahlen in der Rinderhaltung	13
2.1.2.1	Hintergrund: Die Erhöhung der Milchleistung bei Milchkühen	13
2.1.2.2	Entwicklung der Tierzahlen bei Milchkühen	13
2.1.2.3	Entwicklung der Tierzahlen bei Bullen und Färsen	14
2.1.2.4	Entwicklung der Tierzahlen bei Mutterkühen	15
2.1.3	Tierzahlen in der Schweinehaltung	16
2.1.4	Tierzahlen in der Geflügelhaltung	16
2.1.4.1	Legehennen und Junghennen	16
2.1.4.2	Masthähnchen und –hühnchen	17
2.1.4.3	Puten	18
2.1.4.4	Enten und Gänse	19
2.1.5	Zusammenstellung der betrachteten Aktivitäten	19
2.1.6	Nicht betrachtete Aktivitäten	20
2.2	Entwicklung der N-Ausscheidungen in der Tierhaltung	21
2.2.1	Milchvieh-Haltung bei unveränderter Milchezusammensetzung und gleich bleibendem Lebendgewicht	21
2.2.2	Mastbullen	22
2.2.3	Andere Rinder	22
2.2.4	Schweine	22
2.2.5	Geflügel	23
2.2.6	Andere Tiere	23
2.2.7	Zusammenstellung der verwendeten N-Ausscheidungen	24
2.3	Entwicklung der Häufigkeitsverteilung von Haltungsverfahren	24
2.3.1	Milchkühe	24
2.3.2	Färsen	25
2.3.3	Mastbullen	25
2.3.4	Kälber, Mutterkühe und Zuchtbullen	26
2.3.5	Zuchtsauen	26
2.3.6	Aufzuchtferkel, Mastschweine und Zuchteber	26
2.3.7	Legehennen	26
2.3.8	Anderes Geflügel	27
2.4	Ausbringung und Einarbeitung	27
2.5	Emissionen von Primärstäuben PM ₁₀ und PM _{2,5} aus der Landwirtschaft	29
2.5.1	Übersicht	29
2.5.2	Emissionsfaktoren	29
2.5.3	Emissionen	30
2.5.4	Emissionsmindernde Maßnahmen bei Staub-Emissionen	31
2.6	Ergebnisse	32
2.6.1	Tierzahlen	33

2.6.2	Emissionen	32
2.6	Literatur	37
3	Maßnahmen in der Landwirtschaft – Übersicht	38
4	Verringerung der N-Ausscheidungen in der Nutztierhaltung	41
4.1	Die Bedeutung der Minderung der Stickstoff-Ausscheidungen für die Emissionsminderung	41
4.2	Milchkühe	43
4.2.1	Maßnahme: Erhöhung der Milchleistung bei Milchkühen	43
4.2.1.1	Zeitlicher Trend der Milchleistungssteigerung	43
4.2.1.2	N-Ausscheidungen mit Kot und Harn	44
4.2.1.3	Nebenwirkungen	45
4.2.1.4	Umsetzbarkeit	45
4.2.1.5	Kosten	45
4.2.2	Maßnahme: Erhöhung der Zahl der Laktationen je Milchkuh	46
4.2.2.1	Folgen der Erhöhung der Milchleistung je Tier für das Herdenmanagement - Milchleistung und Remontierung	46
4.2.2.2	Einfluss der Zahl der Laktationen auf die NH ₃ -Emissionen	47
4.2.2.3	Nebenwirkungen	48
4.2.2.4	Umsetzbarkeit	49
4.2.2.5	Kosten	49
4.2.3	Maßnahme: Anpassung der Milcheiweiß-Gehalte an ein verändertes Verbraucherverhalten	50
4.2.3.1	Eiweiß- und Fettgehalte der Kuhmilch	50
4.2.3.2	N-Ausscheidungen mit Kot und Harn	51
4.2.3.3	Szenarien	53
4.2.3.4	Nebenwirkungen	53
4.2.3.5	Umsetzbarkeit	54
4.2.3.6	Kosten	54
4.3	Maßnahme: Verkürzung der Mastdauer bei Mastbullen	55
4.3.1	Verkürzung der Mastdauer	55
4.3.2	N-Ausscheidungen mit Kot und Harn	55
4.3.3	Szenarien	56
4.3.4	Nebenwirkungen	57
4.3.4	Umsetzbarkeit	57
4.3.5	Kosten	57
4.4	Maßnahme: Verkürzung der Mastdauer bei Mastschweinen	58
4.4.1	Züchterischer Fortschritt	58
4.4.2	Verkürzung der Mastdauer	58
4.4.3	Nebenwirkungen	59
4.4.4	Umsetzbarkeit	59
4.4.5	Kosten	59
4.5	Maßnahme: Verkürzung der Mastdauer bei Masthähnchen und –hühnchen	60
4.5.1	Züchterischer Fortschritt	60
4.5.2	Veränderung der Ernährung	61
4.5.3	Verkürzung der Mastdauer	62
4.5.3	Nebenwirkungen	64
4.5.4	Umsetzbarkeit	64
4.5.5	Kosten	64
4.6	Literatur	64
5	Maßnahmen im Stall	66
5.1	Sauberkeit im Stall	66
5.2	Maßnahme: Verringerter Aufenthalt im Stall - Verlängerung des Weidegangs bei Milchkühen	67
5.2.1	Unterschiede zwischen Stall- und Weidehaltung	67
5.2.2	NH ₃ -Emissionen bei verlängerter Weidehaltung	68
5.2.3	Nebenwirkungen	68
5.2.4	Umsetzbarkeit	68

5.2.5	Kosten	69
5.3	Maßnahme: Umstellung auf Festmistverfahren	70
5.3.1	Die Immobilisierung von anorganischem Stickstoff in Stroh und deren Auswirkung auf die gesamte Festmistkette	70
5.3.2	Die NH ₃ - und Treibhausgas-Emissionen von Gülle- und Festmisthaltung im Vergleich	71
5.3.2.1	Beispiel Milchkuh	71
5.3.2.2	Beispiel Mastschwein	71
5.3.3	Emissionsminderung in Deutschland in der Rinder- und Schweine-Haltung bei Verwendung strohbasierter Haltungsverfahren	72
5.3.4	Umsetzbarkeit	73
5.3.5	Kosten	73
5.4	Maßnahme: Einsatz von Abluftreinigungsanlagen in der Schweinehaltung	74
5.4.1	Wirkungsweise von Abluftreinigungsverfahren	74
5.4.2	Die NH ₃ - und Treibhausgas-Emissionen von Mastschweine-Ställen ohne und mit Abluftreinigung im Vergleich	75
5.4.3	Emissionsminderung in Deutschland in der Schweine-Haltung bei regionalem Einsatz von Abluftreinigungsanlagen	76
5.4.4	Nebenwirkungen	77
5.4.5	Umsetzbarkeit	77
5.4.5	Kosten	77
5.5	Literatur	77
6	Maßnahmen bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern	79
6.1	Maßnahme: Abdeckung der Wirtschaftsdünger-Lager	79
6.1.1	Zweck der Abdeckung	79
6.1.2	Einfluss von festen Abdeckungen, Folien und Strohhäcksel auf die Emissionen bei der Lagerung von Schweinegülle	80
6.1.3	Emissionsminderung in Deutschland in der Rinder- und Schweine-Haltung bei flächendeckendem Einsatz von Abdeckungen	81
6.1.4	Nebenwirkungen	82
6.1.5	Umsetzbarkeit	82
6.1.6	Kosten	82
6.2	Maßnahme: Veränderung der Ausbringtechnik und Verringerung der Zeit bis zur Einarbeitung	83
6.2.1	Einfluss von Ausbringungstechnik und Einarbeitung	83
6.2.2	Einfluss des Einsatzes von emissionsmindernder Technik und rascher Einarbeitung auf die Emissionen bei der Ausbringung von Rinder- und Schweinegülle	85
6.2.4	Nebenwirkungen	85
6.2.5	Umsetzbarkeit	86
6.2.6	Kosten	86
6.3	Literatur	87
7	Maßnahmen bei der Verwendung von Mineraldüngern	88
7.1	Maßnahme: Anpassung der Düngermengen an den Düngerbedarf	88
7.1.1	Berechnung des N-Dünger-Bedarfs	88
7.1.2	Bedarf, Aufwand und Emissionen	89
7.1.3	Nebenwirkungen	90
7.1.4	Umsetzbarkeit	91
7.1.5	Kosten	91
7.2	Maßnahme: Verringerter Einsatz von Harnstoffdüngern	92
7.2.1	Ammoniak-Emissionsfaktoren für Mineraldünger	92
7.2.2	Teilweiser oder vollständiger Ersatz von Harnstoff durch Kalkammonsalpeter	93
7.2.3	Nebenwirkungen	94
7.2.4	Umsetzbarkeit	94
7.2.5	Kosten	94
7.3	Maßnahme: Kombination von Düngung nach Empfehlung und verringertem Einsatz von Harnstoff-Düngern	95
7.3.1	Rechenverfahren	95
7.3.2	Umsetzbarkeit	96

7.3.4	Kosten	96
7.4	Maßnahme: Einsatz von Leguminosen zur N-Versorgung der Pflanzenbestände	97
7.4.1	Emissionen aus dem Leguminosen-Anbau	97
7.4.2	Nebenwirkungen	98
7.4.4	Umsetzbarkeit	98
7.5	Literatur	98
8	Verringerung des Protein-Konsums der deutschen Bevölkerung – Aufklärung der Verbraucherinnen und Verbraucher	99
8.1	Protein-Konsum und Ammoniak-Emissionen	99
8.2	Literatur	99
9	Erhöhung des Anteils des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlichen Produktion	100
10	Vergleich mit den in der Thematischen Strategie beschriebenen Minderungen	101
10.1	Ammoniak-Emissionen in der Thematischen Strategie zur Luftreinhaltung	101
10.2	Vergleich der Schätzungen der Minderung der Ammoniak-Emissionen	101
10.3	Literatur	103
11	Anhang	104
11.1	Allgemeine Zusammenhänge zwischen der Minderung von Ammoniak-Emissionen und der daraus resultierenden direkten und indirekten Freisetzung von Lachgas	104
11.2	Literatur	105

1 Ammoniak-Emissionen aus landwirtschaftlichen Produktionssystemen und ihre Quantifizierung

1.1 Die Bedeutung von Ammoniak für die Bildung von Feinstaub

Ammoniak (NH_3) ist ein sehr reaktives Gas. Bietet sich kein atmosphärischer Reaktionspartner an, so wird es vergleichsweise rasch von Pflanzenbeständen aufgenommen (trockene Deposition).

NH_3 ist das einzige Gas in der Atmosphäre, das basisch wirkt. Mit den atmosphärischen Säuren (Salpetersäure, HNO_3 , und Schwefelsäure, H_2SO_4) bildet NH_3 Salze, die auf existierenden Keimen aufwachsen. Diese NH_4 -haltigen Partikel haben typische Durchmesser unter $1\text{ }\mu\text{m}$. Solche Teilchen sedimentieren nicht mehr merklich und weisen demzufolge große typische Transportentfernungen auf.

NH_3 löst sich in allen Formen von Wasser (Regentropfen, Oberflächengewässer, Wasserfilme auf Oberflächen und in den Stomata der Pflanzen). In der Atmosphäre können solche Tropfen eintrocknen und neue feste Partikel bilden.

Liegt partikelgebundenes NH_4 als Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) vor, so kann es in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchte thermisch dissoziieren, danach als Gas trocken deponiert werden oder wieder zu anderen Partikeln rekombinieren.

Abb. 1.1 fasst den komplexen Weg von Ammoniak von der Emission bis zur Deposition zusammen.

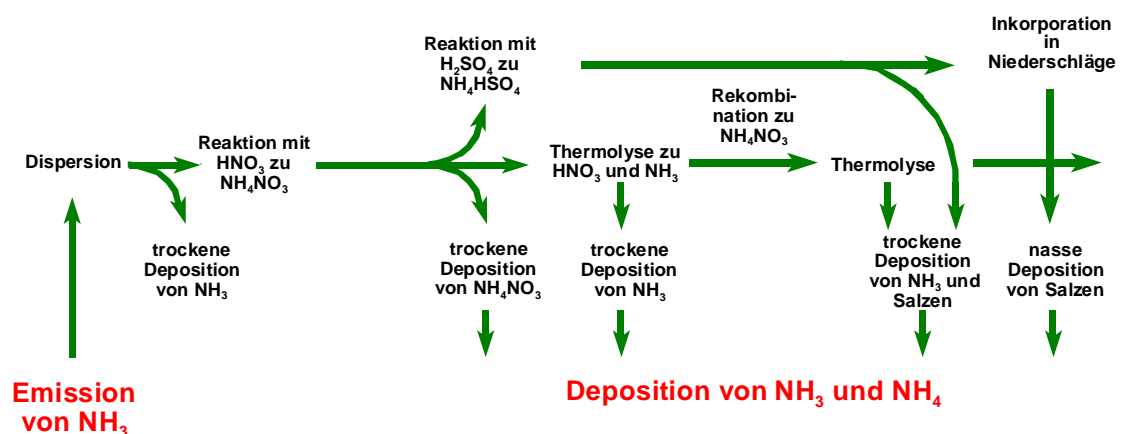


Abb. 1.1: Emission, Dispersion, vertikaler und horizontaler Transport, chemische Reaktionen und Deposition von Ammoniak und Ammonium (nach Dämmgen und Erisman, 2002)

In Mitteleuropa besteht ein beträchtlicher Anteil des Feinstaubs aus NH_4 -Salzen. Die Zusammensetzung der Stäube ist wegen der längeren atmosphärischen Verweil-

dauer relativ gleichförmig. Die beiden Zusammensetzungen in Abb. 1.2 veranschaulichen dies. Es wird deutlich, welche Bedeutung der Minderung der NH_3 -Emissionen bei der Verringerung der Feinstaub-Konzentrationen zukommt. Von den atmosphärischen Säuren würde zumindest HNO_3 ohne NH_3 relativ schnell durch trockene Deposition entfernt werden; in küstennahen Bereichen würde es mit meerwasserbürtigem NaCl reagieren, dessen mittlere Partikeldurchmesser meist größer als die von Feinstaub ($\text{PM}_{2,5}$) sind (vgl. Finlayson-Pitts and Pitts, 1986).

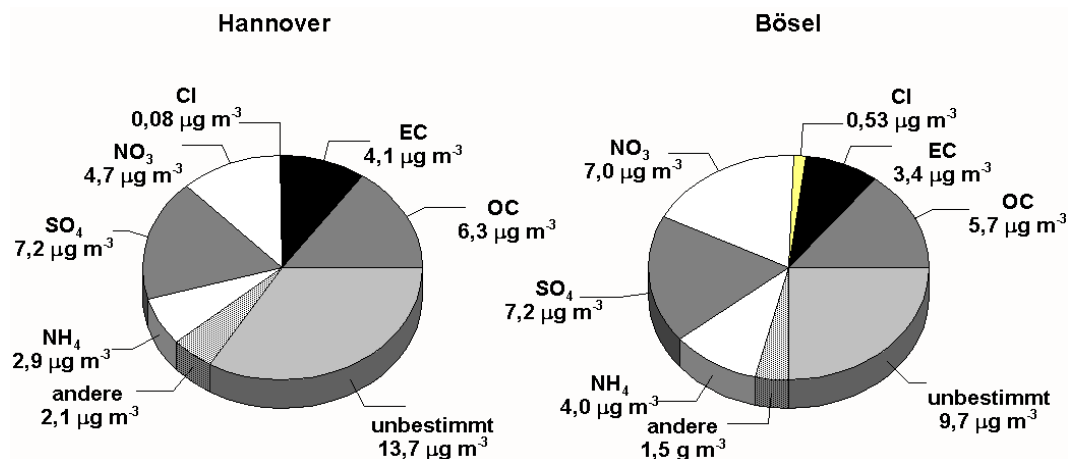


Abb. 1.2: Mittlere Zusammensetzung von Staubproben aus der Innenstadt Hannovers und eines Gebietes mit hohen Ammoniak-Emissionen (Bösel bei Cloppenburg) (nach Bächlin et al., 2003). Angaben für die Teilkonzentrationen in $\mu\text{g m}^{-3}$. EC: Ruß („elemental carbon“); OC: organische Kohlenstoff-Verbindungen ohne Ruß; NH_4 : Ammonium; NO_3 : Nitrat; SO_4 : Sulfat; Cl: Chlorid; andere: Summe von Calcium, Magnesium, Aluminium, Eisen, Natrium, Kalium, Blei, Cadmium, Nickel, Arsen, Mangan, Antimon, Kupfer, Zink; unbestimmt: Wasser, Oxid-Sauerstoff, Carbonat, Silikat etc.. Gesamt-Konzentrationen: Hannover: $41 \mu\text{g m}^{-3}$; Bösel: $39 \mu\text{g m}^{-3}$.

1.2 Ammoniak-Quellen

In Mitteleuropa ist die Landwirtschaft die bei weitem vorherrschende Quelle von NH_3 . Nur etwa 5 % der NH_3 -Emissionen sind aus anderen Quellen. Hier kommt dem Kraftfahrzeugverkehr – zumindest vorerst – eine zunehmende Bedeutung zu: Bei der katalytischen Reduktion der Stickstoffoxide mit NH_3 tritt ein nicht zu vernachlässigender „Schlupf“ auf: NH_3 wird in geringem Überschuss zugegeben und emittiert.

Bei den landwirtschaftlichen Quellen muss wegen der unterschiedlichen Entstehungsmechanismen zwischen Mineraldünger und Wirtschaftsdünger-Management unterschieden werden.

1.2.1 Mineraldünger

Die Methoden und die Erträge der landwirtschaftlichen Primärproduktion in Mitteleuropa setzen die Verfügbarkeit von großen Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff (N) voraus. Die Hauptquelle dieses Stickstoffs ist Mineraldünger-N. Mineraldünger-N kann in Form von Ammonium (NH_4^+), Nitrat (NO_3^-) oder Harnstoff ($\text{CH}_6\text{N}_2\text{O}$) appliziert werden. Manche Dünger, z. B. Ammoniumbicarbonat (NH_4HCO_3) besitzen so hohe Dampfdrücke, dass sie bereits vor oder während der Anwendung NH_3 emittieren. Diese Dünger werden in Europa nicht angewendet. Harnstoff wird von Mikroorganismen zu NH_3 abgebaut. Bleibt Harnstoff nach der Ausbringung auf dem Boden, so werden erhebliche Anteile als NH_3 emittiert. Dies trifft sowohl für feste als auch für flüssige Anwendungen zu.

1.2.2 Pflanzen als NH_3 -Quellen

Dünger-N, das in den Boden gelangt ist, wird von den Pflanzen aufgenommen. Der Stoffwechsel der Pflanzen enthält dabei in den Blättern gelöstes NH_4^+ , das mit NH_3 in der Außenluft im dynamischen Gleichgewicht steht. Die Konzentrationen können insbesondere bei frisch gedüngten Pflanzen so hoch sein, dass ein NH_3 -Fluss aus der Pflanze in die Atmosphäre beobachtet wird. NH_3 -Emissionen aus Pflanzenbeständen treten deshalb in den ersten Tagen nach einer Dünger-Anwendung auf, jedoch auch, wenn die NH_4 -Konzentrationen im Gewebe bei seneszenten Pflanzen stark erhöht sind und wenn bestimmte Herbizide (Glyphosat) angewendet werden.

1.2.3 Wirtschaftsdünger

Bei der Zersetzung eiweißhaltiger Substanzen wird NH_3 frei, das bei entsprechendem pH-Wert in die Atmosphäre entweicht. In der Regel enthalten die Exkremente von Nutztieren relativ große Mengen an N. Das vom Organismus umgesetzte N wird dabei vor allem als Harnstoff mit dem Harn ausgeschieden, das nicht umgesetzte N als organisch gebundenes N (N_{org}) vorwiegend mit dem Kot. Bei Vögeln werden die Abbauprodukte vornehmlich als Harnsäure ausgeschieden. Kot und harnsäurehaltige Exkremente werden gemeinsam ausgeschieden. Eine Übersicht findet sich bei Dämmgen und Erisman (2005). Auch hier setzt die Hydrolyse von Harnstoff NH_3 frei. Die Emission ist dabei von den pH-Werten der Lösungen abhängig, in denen NH_3 entsteht, aber auch von der Temperatur und von der Luftbewegung über den emittierenden Flächen. Die Emissionen dauern an, bis der Wirtschaftsdünger in engen Kontakt mit Bodenpartikeln gelangt, in denen NH_4^+ in der Tonfraktion gebunden wird.

Während der Passage vom Tier zum Boden können Prozesse auftreten, die NH_4^+ binden (Immobilisierung, z. B. bei Haltungsverfahren mit Einstreu, aber auch der Abbau von organisch gebundenem N (Mineralisierung).

1.3 Die Modellierung von NH_3 -Emissionen im deutschen Emissionsinventar

Das deutsche landwirtschaftliche Emissionsinventar ist als Instrument der Politikberatung konzipiert. Wesentliches Ziel ist es, die emittierenden Prozesse so zu beschreiben, dass Minderungsmöglichkeiten quantifiziert werden können.

Das deutsche landwirtschaftliche Emissions-Modell GAS-EM bedient sich im Bereich der NH_3 -Emissionen aus Böden und Pflanzen der im EMEP/CORINAIR-Guidebook (EMEP/CORINAIR, 2002) vorgeschlagenen Methoden. Diese unterscheiden bei den Emissionsfaktoren zwischen mehreren Düngersorten und deren Anwendung auf Acker oder Grünland in Abhängigkeit von der mittleren Frühjahrstemperatur. Im Bereich der Emissionen aus der Tierhaltung verfolgt GAS-EM einen Stofffluss-Ansatz, bei dem zunächst über den Energie- und Nährstoffbedarf bei gegebener Leistung (hier werden Gewicht, Gewichtszuwachs, Milchleistung, Zahl der Ferkel u. ä. hinzugezogen) die Ausscheidungen an umsetzbaren Kohlenstoff-Verbindungen sowie die N-Ausscheidungen mit Kot und Harn berechnet werden. Anschließend werden für alle Tierarten die Emissionen der Stickstoff-Spezies NH_3 , NO, N_2O und N_2 aus dem Weidegang, der Stallhaltung, der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern berechnet. Das bei Dämmgen und Hutchings (2008) beschriebene Modell ist bei Dämmgen et al. (2008) ausführlich dokumentiert.

1.4 Die Notwendigkeit der gleichzeitigen Beschreibung von Ammoniak-Emissionen und Treibhausgas-Emissionen

Die Beschreibung von Emissionen mit Hilfe eines integrierten Stofffluss-Modells für Stickstoff und (eingeschränkt) für Kohlenstoff hat zur Folge, dass die Emissionen jeder einzelnen Spezies sich auf die Emissionen anderer Spezies auswirken können. Dies bedeutet, dass zur Beurteilung der Wirkung einer Maßnahme zur Verringerung der NH_3 -Emissionen die Emissionen von N_2O , NO und CH_4 sowie das Treibhausgas-Potenzial herangezogen werden. In den Kapiteln über Nebenwirkungen sind deshalb in der Regel die Emissionen der Treibhausgase tabelliert.

1.5 Literatur

Bächlin, W.; Lohmeyer, A.; Kuhlbusch, T.; Dreiseidler, A.; Baumbach, G.; Giesen, K.-P.; Heits, B.; Müller, W.J.; Klasmeier, E.; Schmidt, H. (2003): Aerosolbudget in einem landwirtschaftlich geprägten Gebiet in Niedersachsen. Abschlussbericht für das Niedersächsische Landesamt für Ökologie, Hannover. Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe: 107 S.

Dämmgen, U.; Erisman, J.W. (2002): Transmission und Deposition von Ammoniak und Ammonium. In: KTBL (Hrsg.): Emissionen der Tierhaltung. Grundlagen, Wirkungen, Minderungsmaßnahmen. KTBL-Schrift 406. KTBL, Darmstadt: 50-62

Dämmgen, U.; Erisman, J.W. (2005): Emission, transmission, deposition and environmental effects of ammonia from agricultural sources. In: Kuczynski, T.; Dämmgen, U.; Webb, J.; Myczko, A. (Hrsg.): Emissions from European agriculture. Wageningen Academic Publishers, Wageningen (2005), 97-112.

Dämmgen, U.; Hutchings, N.J. (2008): Emissions of gaseous nitrogen species from manure management - a new approach. *Environmental Pollution*, im Druck

Dämmgen, U.; Haenel, H.-D.; Rösemann, C.; Conrad, J.; Lüttich, M.; Eurich-Menden, B.; Döhler, H.; Müller-Lindenlauf, M.; Osterburg, B. (2008): Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2009 für 2007. Methoden und Daten (GAS-EM). Landbauforschung Völkenrode, in Vorbereitung

Finlayson-Pitts, B.J.; Pitts, J.N. (1986): *Atmospheric Chemistry. Fundamentals and Experimental Techniques*. Wiley, New York.

EMEP/CORINAIR (2002): Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. 3rd ed., EEA, Copenhagen. <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR3/en/page019.html/>

2 Projektionen 2010 und 2020

2.1 Entwicklung der Aktivitäten

2.1.1 Mineraldünger

2.1.1.1 Mineraldünger-Absatz

Der Verkauf von Mineraldünger-N hat seit der deutschen Vereinigung zunächst abgenommen, ist aber seit einigen Jahren stabil. Dabei haben die verkauften Harnstoff-Mengen (sowohl als reiner Harnstoff als auch als Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL) stetig zugenommen; der Verkauf anderer N-Dünger hat abgenommen. Für die Prognose wird bei Harnstoff die gesamte Zeitreihe zugrunde gelegt, bei den anderen N-Düngern wegen der durch Umbrüche in den neuen Bundesländern geprägten Situation die Zeit ab 1995. (Vgl. Abb. 2.1)

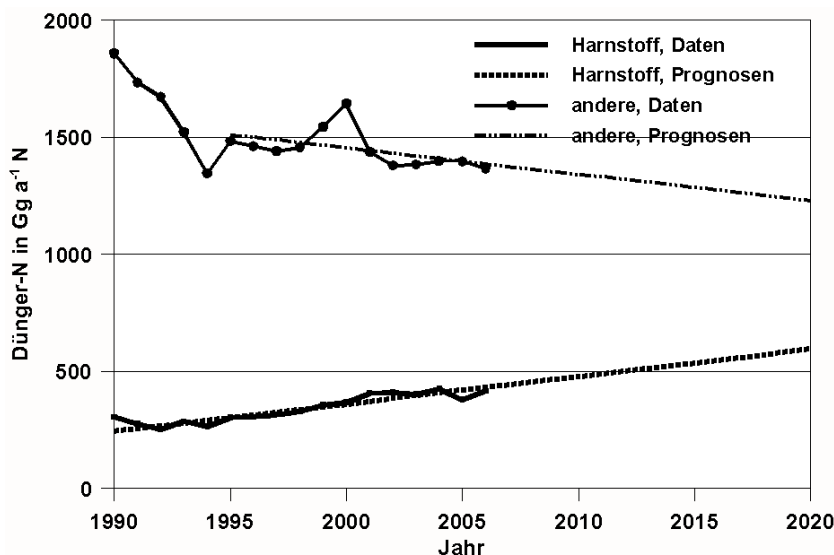


Abb. 2.1: Entwicklung der Verkäufe von Mineraldünger-N (Originaldaten: Statistisches Bundesamt, vgl. Dämmgen et al., 2008)

2.1.1.2 Mineraldünger-Anwendung

Eine Analyse der Verteilung der Mineraldünger ohne Harnstoff und von Harnstoff auf Ackerland und Grünland ergab, dass jeweils 75 % Anwendung auf Ackerland und 25 % auf Grünland ausgebracht wurden. Diese Zahl wird für den gesamten Zeitraum konstant gesetzt.

2.1.2 Tierzahlen in der Rinderhaltung

2.1.2.1 Hintergrund: Die Erhöhung der Milchleistung bei Milchkühen

Die Milchleistung je Milchkuh hat sich in den vergangenen Jahren um durchschnittlich mehr als $100 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erhöht. Diese Erhöhung ist in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich ausgeprägt (vgl. Abb. 2.2). Der Trend ist ungebrochen und wird in den kommenden 10 Jahren anhalten. (Flachowsky, Friedrich Löffler-Institut, Institut für Tierernährung, mündliche Mitteilung)

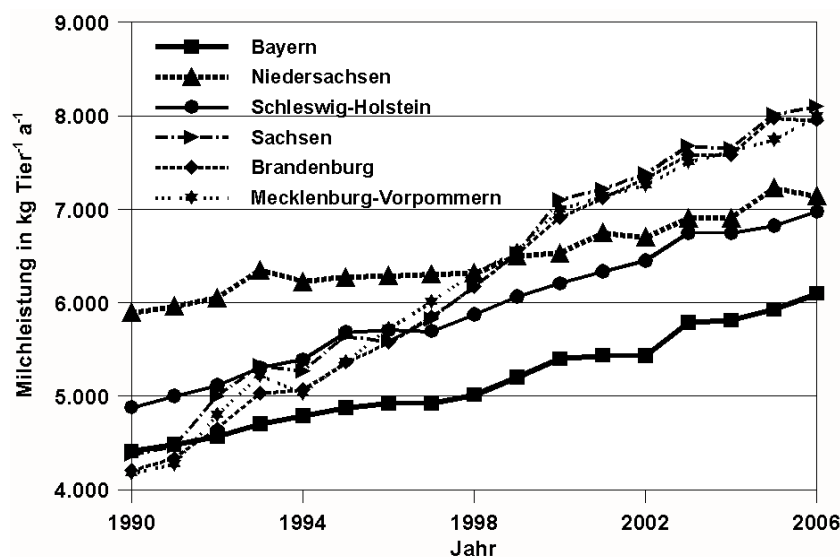


Abb. 2.2: Entwicklung der Milchleistung seit 1990, Beispiele für je drei alte und neue Bundesländer (Originaldaten: Statistische Landesämter, vgl. Dämmgen et al., 2008)

2.1.2.2 Entwicklung der Tierzahlen bei Milchkühen

Der Milchmarkt ist vorläufig ein regulierter Markt, d. h., die Gesamt-Milchleistung bleibt konstant, solange die so genannte Quotenregelung wirksam bleibt. Die Milchmenge wird dann zukünftig mit weniger Tieren erzeugt.

Die bisherige Entwicklung der Milchleistung wies im Mittel einen Zuwachs von etwa $130 \text{ kg Platz}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf. Das hohe Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,994$) der bisherigen Entwicklung wird genutzt, um eine Prognose für 2020 zu erstellen. Die hierbei erwarteten Milchleistungen sind nach dem bisherigen Kenntnisstand der Tiergesundheit noch nicht abträglich.

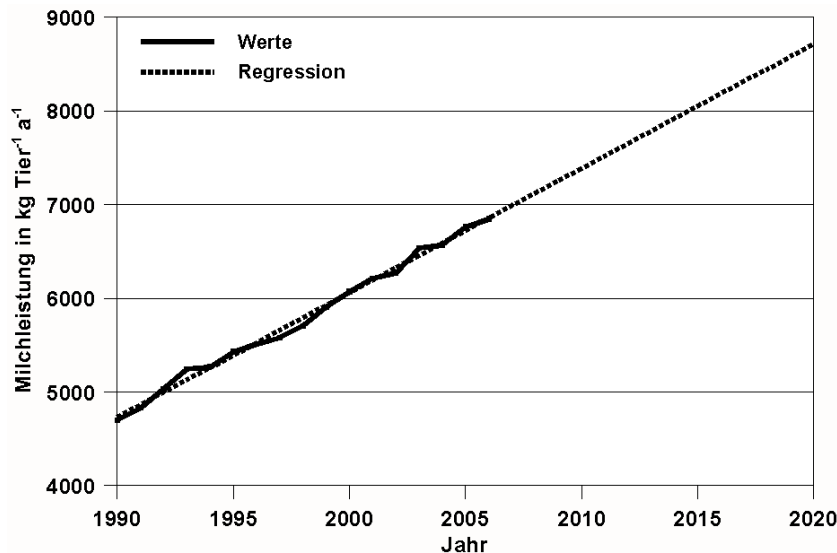


Abb. 2.3: Prognose zur Entwicklung der Milchleistung bis 2020 (Originaldaten: Statistisches Bundesamt, vgl. Dämmgen et al., 2008)

Bei gleicher Gesamtmilchleistung ist deshalb für das Jahr 2020 mit einer Population von etwa 3.287.000 Tieren (2005: 4.236.400 Tiere) zu rechnen (Abb. 2.4).

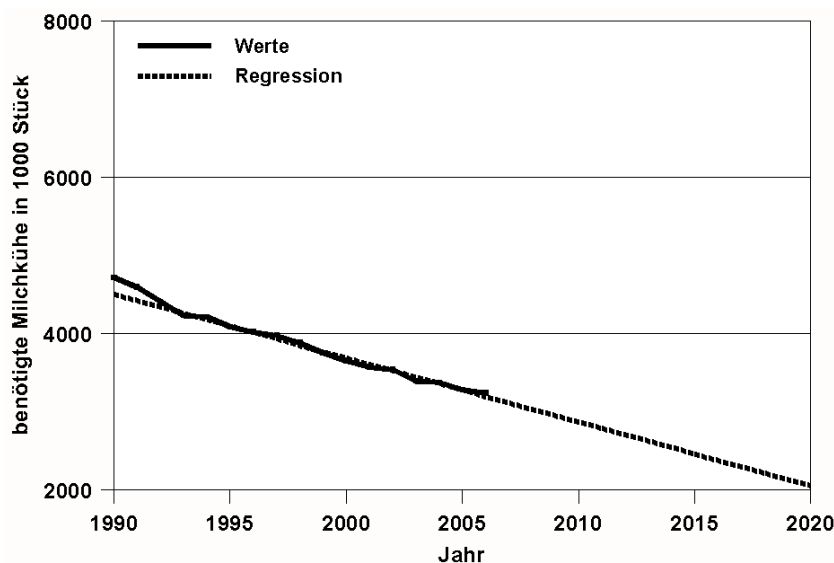


Abb. 2.4: Prognose zur Entwicklung der Tierzahlen bei Milchkühen bis 2020 (Originaldaten: Statistisches Bundesamt, vgl. Dämmgen et al., 2008)

2.1.2.3 Entwicklung der Tierzahlen bei Bullen und Färsen

Milchkühe müssen Kälber erzeugen, um Milch geben zu können. Die Zahl der Kälber pro Jahr ist eine Funktion der Milchleistung. Das Verhältnis von weiblichen zu männlichen Kälbern ist ungefähr eins. Die Lebensdauern der Färsen (weibliche Rinder vor

der ersten Laktation) und der Bullen sind jedoch sehr unterschiedlich. Es erscheint sinnvoll, die zukünftigen Zahlen von Färsen und Bullen aus Regressionen abzuleiten, da die die Verhältnisse bestimmenden Einflussgrößen bereits in den vergangenen Jahren wirksam waren.

Die Anzahl der Färsenplätze je Milchkuhplatz nimmt zu, da die Nutzungsdauer der Milchkühe abnimmt und sich die Zwischenkalbezeiten erhöhen. Die Zahl der Bullenplätze je Milchkuhplatz nimmt jedoch ab, da sich bei gleichen Einflussgrößen wie in der Färsenhaltung die mittlere Mastdauer der Bullen verringert; die Intensität der Mast (Gewichtszunahme pro Tag) nimmt zu. Die Verhältnisse sind in den Abb. 2.5 und 2.6 dargestellt. Die sachlich begründeten Zu- und Abnahmen sind von Markteffekten überlagert.

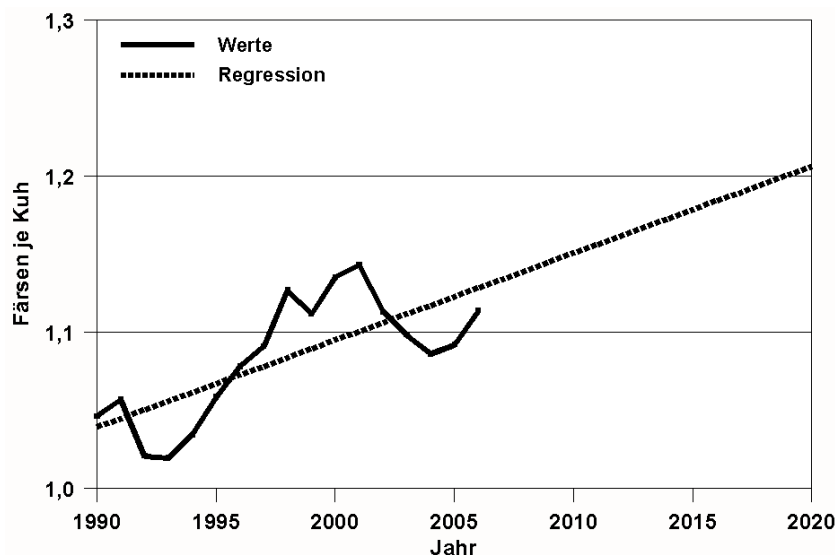


Abb. 2.5: Prognose zur Entwicklung der Zahl der Färsenplätze bis 2020: Verhältnis der Färsenzahlen zu den Milchkuhzahlen. (Originaldaten: Statistisches Bundesamt, vgl. Dämmgen et al., 2008)

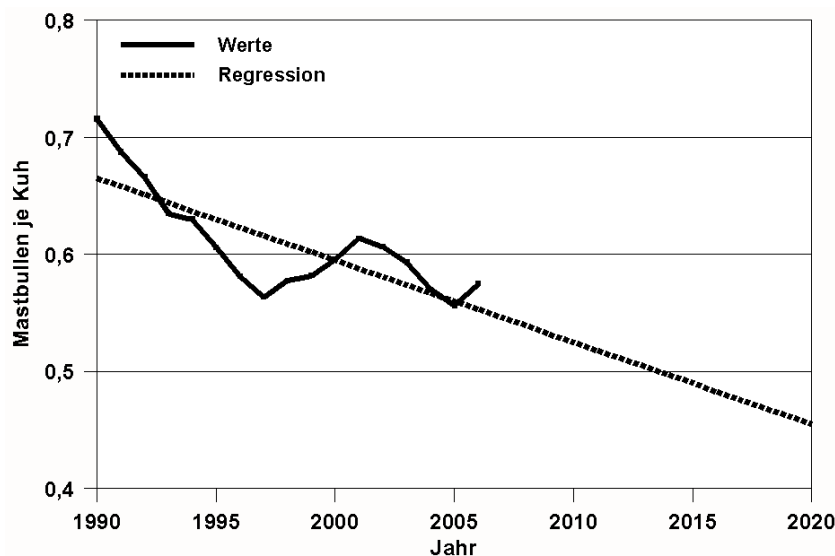


Abb. 2.6: Prognose zur Entwicklung der Zahl der Bullenplätze bis 2020 (Originaldaten: Statistisches Bundesamt, vgl. Dämmgen et al., 2008)

2.1.2.4 Entwicklung der Tierzahlen bei Mutterkühen

Die Zahl der Mutterkuhplätze hat in den vergangenen Jahren bis etwa 2000 stetig zugenommen. Seitdem stagniert der Bestand. Wegen der vergleichsweise geringen Bedeutung der Emissionen wird auf eine Aussage zu zukünftigen Mutterkuhanzahlen vorläufig verzichtet, d. h., die Zahlen für 2006 werden fortgeschrieben.

2.1.3 Tierzahlen in der Schweinehaltung

Die Betrachtung der Zeitreihen der Bestände lässt nach den großen Änderungen unmittelbar nach der deutschen Vereinigung keine wesentlichen Änderungen erkennen. In Übereinstimmung mit Osterburg (2006) wird daher angenommen, dass die Bestände in Zukunft stabil bleiben.

2.1.4 Tierzahlen in der Geflügelhaltung

2.1.4.1 Legehennen und Junghennen

Bis zum Jahr 2012 wird die Käfighaltung EU-weit verboten. Derzeit sind in Deutschland seit 1.1.2007 neben der Bodenhaltung nur noch so genannte ausgestaltete Käfige erlaubt. Damit einher wird eine weitere Abnahme der Legehennenbestände gehen. Die Regression der Tierzahlen unter Ausschluss der Jahre unmittelbar nach der

Wende lässt einen Abfall der Tierplätze auf etwa 31,7 Millionen Legehennen¹ im Jahr 2020 erwarten. Dies stimmt größenordnungsmäßig mit den von Osterburg (2006) vorgestellten Zahlen überein.

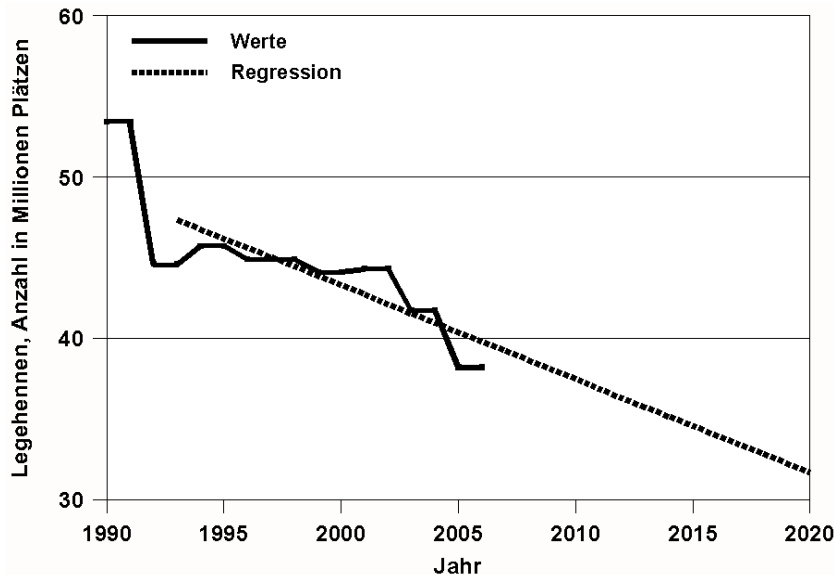


Abb. 2.7: Prognose zur Entwicklung der Zahl der Legehennenplätze bis 2020. Angaben in Millionen Plätzen (Originaldaten: Statistisches Bundesamt, vgl. Dämmgen et al., 2008)

2.1.4.2 Masthähnchen und -hühnchen

Die Masthähnchen-Produktion hat in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen; Die Entwicklung seit 1990 ist praktisch linear (Abb. 2.7). Sie wird bis 2020 fortgeschrieben. Osterburg (2006) gibt für 2010 Zahlen an, die größenordnungsmäßig mit den hier geschätzten übereinstimmen.

¹ Im deutschen Inventar wird für die Berechnung der Emissionen nicht die Tierzahl der amtlichen Statistik verwendet. Die amtliche Statistik unterscheidet Hühner nach Altersklassen. Die hier genannten Zahlen beziehen sich auf die tatsächlich eierlegenden Tiere.

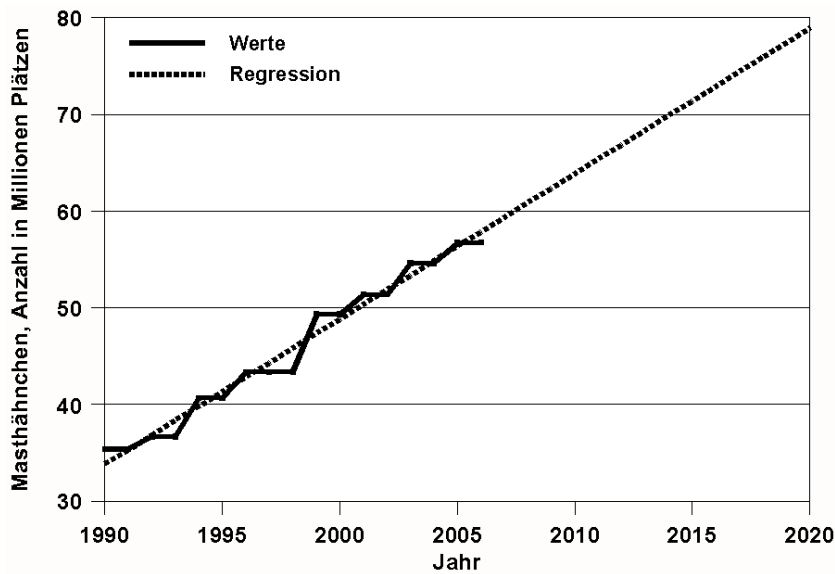


Abb. 2.7: Prognose zur Entwicklung der Zahl der Masthähnchenplätze bis 2020. Angaben in Millionen Plätzen (Originaldaten: Statistisches Bundesamt, vgl. Dämmgen et al., 2008)

2.1.4.3 Puten

Die Putenproduktion hat in den vergangenen 15 Jahren ebenfalls stark zugenommen. Die Zunahme ist linear mit der Zeit und wird bis 2020 extrapoliert (Abb. 2.8). Auch hier fügen sich die in Osterburg (2006) genannten Daten ohne Widersprüche ein.

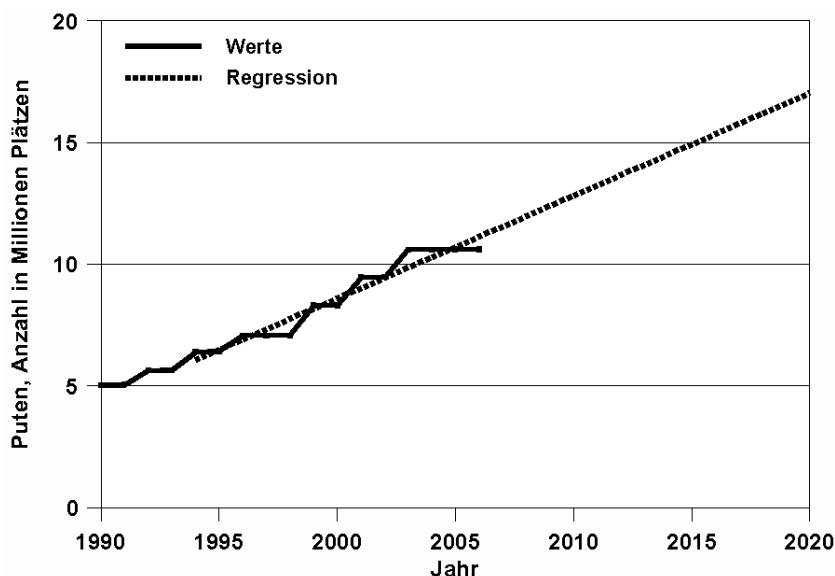


Abb. 2.8: Prognose zur Entwicklung der Zahl der Putenplätze bis 2020. Angaben in Millionen Plätzen (Originaldaten: Statistisches Bundesamt, vgl. Dämmgen et al., 2008)

2.1.4.4 Enten und Gänse

Die Entwicklung der Zahlen von Enten und Gänsen ist von so geringer Bedeutung für das Emissionsgeschehen, dass auf eine Prognose verzichtet wird. Die Anzahlen für 2006 werden fortgeschrieben.

2.1.5 Zusammenstellung der betrachteten Aktivitäten

Die in den Szenarien verwendeten Aktivitätsdaten sind in Tabelle 2.1 zusammengefasst (Spalten AOE) und den bei Osterburg (2006) (Spalte LR) beschriebenen gegenübergestellt. Wesentliche Abweichungen der von den früheren FAL-Instituten für Ländliche Räume (LR) und für Agrarökologie (AOE) ermittelten Zahlen liegen bei den Säugetieren in dem Umstand begründet, dass AOE homogene Tierklassen benötigt, deren Einteilung nicht mit der amtlichen Statistik übereinstimmt. Dies trifft für Kälber, Färsen und Mastbullen, für Schafe und für Pferde zu. Auch bei Junghennen und Legehennen werden andere Aktivitäten benutzt ².

Die Annahmen für die Geflügelhaltung bei Osterburg (2006) sind recht pauschal und fassen Tierkategorien zusammen. Die AOE-Schätzungen berücksichtigen die stark veränderten Putenbestände. Angesichts der geringen Emissionsfaktoren ist dies für die Berechnung der NH₃-Emissionen unerheblich.

² GAS-EM benötigt Tierkategorien, deren Ernährung und Haltung einheitlich sind. Die amtliche Statistik erfasst dagegen Altersklassen.

Tabelle 2.1: Zur Berechnung von Emissionsszenarien verwendete Aktivitätszahlen.
(Die Zahl der angegebenen Stellen hat keine Aussagekraft für die Unsicherheit der Schätzung.)

Aktivität	Einheit	2005 AOE	2010 LR	2010 AOE	2020 AOE
Harnstoff	Gg a ⁻¹ N	380,5		479,1	596,4
Mineraldünger ohne Harnstoff	Gg a ⁻¹ N	1397,9		1343,8	1231,3
Mineraldünger insgesamt	Gg a ⁻¹ N	1778,4	1708,4	1822,9	1827,7
Milchkühe	1000 Plätze a ⁻¹	4236,4	3875,9	3878,5	3287,0
Kälber ¹	1000 Plätze a ⁻¹	1051,1	1956,9	988,2	880,1
Färsen ¹	1000 Plätze a ⁻¹	4627,1	3281,7	4464,3	3966,7
Mastbullen ¹	1000 Plätze a ⁻¹	2357,7	1939,8	2037,5	1496,6
Mutterkühe	1000 Plätze a ⁻¹	660,3	418,1	659,8	659,8
Zuchtbullen	1000 Plätze a ⁻¹	103,0		100,5	100,5
Sauen	1000 Plätze a ⁻¹	2541,7	2555,8	2483,9	2483,9
Aufzuchtferkel AOE	1000 Plätze a ⁻¹	4753,5		4739,7	4739,7
Mastschweine AOE	1000 Plätze a ⁻¹	17138,9	16425,3	16883,4	16883,4
Mastschweine insgesamt ²	1000 Plätze a ⁻¹	21892,4		21623,1	21623,1
Zuchteber	1000 Plätze a ⁻¹	46,7		44,1	44,1
Mutterschafe	1000 Plätze a ⁻¹	1611,1		1586,8	1511,2
Erw. Schafe ohne Mutterschafe	1000 Plätze a ⁻¹	75,7		73,3	73,3
Lämmer	1000 Plätze a ⁻¹	956,3		941,4	906,1
Σ Schafe	1000 Plätze a ⁻¹	2643,1	1180,6	2601,5	2490,6
Großpferde	1000 Plätze a ⁻¹	570,9		684,3	840,6
Kleinpferde	1000 Plätze a ⁻¹	213,9		259,8	328,2
Σ Pferde	1000 Plätze a ⁻¹	784,8	728,5	944,1	1168,8
Legehennen ³	1000 Plätze a ⁻¹	38204,8	26805,6	38657,3	34274,4
Junghennen ³	1000 Plätze a ⁻¹	12301,8	8503,2	12523,5	11160,8
Masthähnchen	1000 Plätze a ⁻¹	56762,6	55755,7	63832,2	78801,4
Gänse	1000 Plätze a ⁻¹	329,7		329,7	329,7
Enten	1000 Plätze a ⁻¹	2352,3		2352,3	2352,3
Puten	1000 Plätze a ⁻¹	10611,0		12838,4	17056,2
Σ Gänse, Enten, Puten	1000 Plätze a ⁻¹	13293,0	14649,4	15520,4	19738,2

¹ Im Inventar weichen die Zahlen für Kälber, Färsen und Mastbullen von den Angaben der amtlichen Statistik ab; LR-Schätzungen für Kälber sind daher höher, die für Färsen und Mastbullen niedriger als in der AOE-Schätzung

² Für die Rechnungen in GAS-EM werden Mastschweine unterteilt in Aufzuchtferkel AOE und Mastschweine AOE. „Mastschweine insgesamt“ wird als Summe aus beiden zu Vergleichszwecken mit aufgeführt.

³ Im Inventar werden die Zahlen für Junghennen und Legehennen nicht nach dem Alter, sondern dem tatsächlichen Beginn der Aufstallung als Legehennen berechnet.

2.1.6 Nicht betrachtete Aktivitäten

Weitere Ammoniak-Quellen sind

- der Leguminosenanbau (2006: 1,1 Gg a⁻¹ NH₃)
- die Ziegenhaltung (2006: 0,3 Gg a⁻¹ NH₃)
- die Büffelhaltung (2006: 0,03 Gg a⁻¹ NH₃)
- die Haltung von Pelztieren (2000: 0,17 Gg a⁻¹ NH₃)

Diese Quellen werden bei der Erstellung der Projektionen wegen geringer Bedeutung nicht berücksichtigt.

2.2 Entwicklung der N-Ausscheidungen in der Tierhaltung

2.2.1 Milchvieh-Haltung bei unveränderter Milchezusammensetzung und gleich bleibendem Lebendgewicht

Erhöhte Milchleistung setzt eine erhöhte Stoffwechselaktivität und vermehrte Energie- und Protein-Aufnahme mit dem Futter voraus. Die Zusammensetzung des Futters ändert sich; der Anteil an Kraftfutter nimmt zu. Da der Erhaltungsaufwand jedoch gleich bleibt, ergibt sich eine verringerte N-Ausscheidung je Liter Milch. Im betrachteten Rahmen (bis 10000 kg Kuh⁻¹ a⁻¹) sind die hier getroffenen Annahmen statthaft (Expertenurteil Flachowsky, FLI, Institut für Tierernährung).

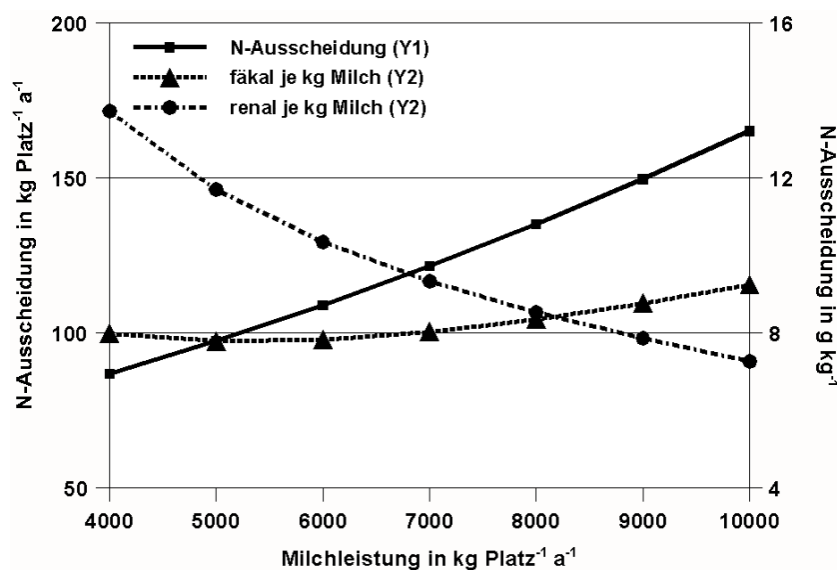


Abb. 2.9: Abhängigkeit der N-Ausscheidungen von Milchkühen von der Milchleistung. Links: Gesamt-N-Ausscheidung je Platz und Jahr, rechts: produktbezogene Ausscheidung mit Kot (fäkal) und Harn (renal), bezogen auf ein kg Milch. Gewicht: 630 kg Tier⁻¹. Milchfettgehalt: 4,2 %. Milcheiweiß-Gehalt: 3,4 % (Rechnungen mit GAS-EM).

Hierbei nehmen auch die produktbezogenen Mengen an fäkal ausgeschiedenem N zu, die der renal ausgeschiedenen Mengen jedoch ab. Letzteres führt zu einer linearen Verringerung der NH₃-Emissionen (siehe Abb. 2.9).

Für die Rechnung der Szenarien wurden bei einem mittleren Gewicht von 630 kg Tier⁻¹ konstante Milchfett-Gehalte von 4,2 % und Milcheiweiß-Gehalte von 3,4 % angenommen. Dies entspricht der Situation im Jahre 2005.

2.2.2 Mastbullen

Die N-Ausscheidung von Mastbullen ist abhängig von der Mastintensität, d. h. primär von der täglichen Gewichtszunahme. GAS-EM hat für die zurückliegenden Jahre die Zeitreihe der N-Ausscheidungen berechnet (Abb. 2.10). Diese Zeitreihe wird nicht extrapoliert. Ein konstanter Wert von $36 \text{ kg Platz}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ wird weiterhin angenommen.

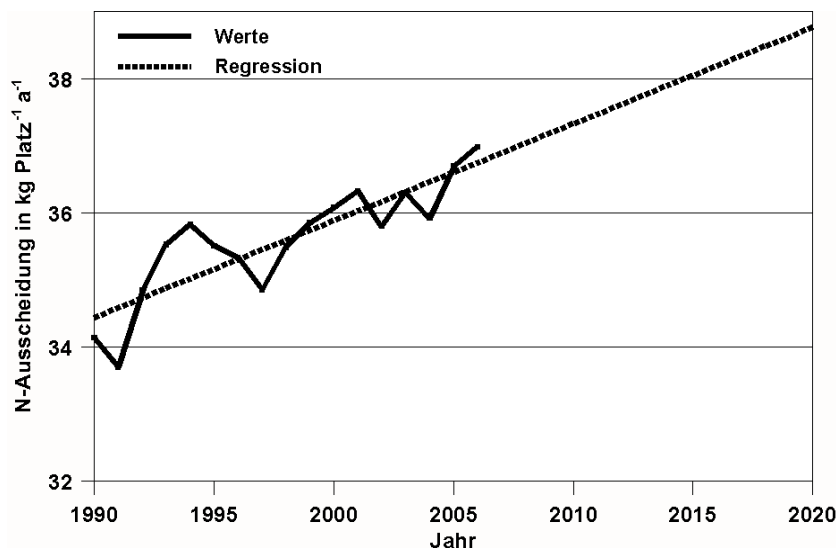


Abb. 2.10: Zeitliche Entwicklung der N-Ausscheidungen von Mastbullen (Originaldaten: Statistisches Bundesamt, vgl. Dämmgen et al., 2008)

2.2.3 Andere Rinder

Die N-Ausscheidungen der Kälber, Färsen, Mutterkühe und Zuchtbullen werden vorläufig als konstant angesehen.

2.2.4 Schweine

Bei Sauen ist die N-Ausscheidung je Platz seit 1990 praktisch konstant geblieben, ebenso bei Aufzuchtferkeln. Änderungen ergaben sich allerdings bei Mastschweinen. Hier ließe die Projektion Ausscheidungen von $17,0$ bis $17,5 \text{ kg Platz}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ erwarten (Abb. 2.11).

Da sich die Produktionsbedingungen in den vergangenen Jahren aber nicht wesentlich geändert haben und eine Erhöhung der N-Ausscheidung mit einer Verringerung der Mastdauer und dann bei gleichem Produktionsniveau mit einer Verringerung der Tierzahlen einherginge, werden vorläufig die N-Ausscheidungen von 2006 beibehalten.

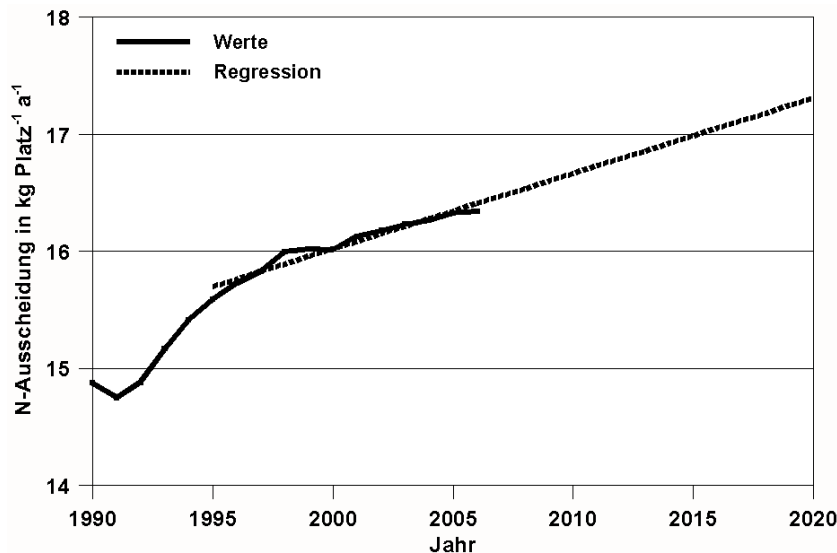


Abb. 2.11: Abhängigkeit der N-Ausscheidungen von Mastschweinen. Die Regression schließt die Werte von 1990 bis 1994 aus (nichtlineares Verhalten).

2.2.5 Geflügel

Die modellierten N-Ausscheidungen bei Legehennen, Junghennen und Enten lassen keine Extrapolation zu. Dagegen ist bei Masthähnchen und -hühnchen sowie bei Puten eine deutliche Zunahme der N-Ausscheidungen zu beobachten. Sie ist allerdings weder für Masthähnchen und -hühnchen noch für Puten sinnvoll extrapolierbar. Die Zahlen für 2006 werden unverändert fortgeschrieben.

2.2.6 Andere Tiere

Die Emissionen aller anderen Tiere (Zuchteber, Schafe, Ziegen, Büffel) sind im Vergleich zu den aufgeführten Tierarten gering. Die jeweils letzten N-Ausscheidungen der vorhandenen Zeitreihe werden übernommen.

Ziegen und Büffel werden nicht berücksichtigt.

2.2.7 Zusammenstellung der verwendeten N-Ausscheidungen

Die in den Szenarien verwendeten N-Ausscheidungen sind in Tabelle 2.2 zusammengefasst.

Tabelle 2.2: Zur Berechnung von Emissionsszenarien verwendete Stickstoff-Ausscheidungen. Zum Vergleich sind die für 2005 ermittelten Werte angegeben.
(Die Zahl der angegebenen Stellen hat keine Aussagekraft für die Unsicherheit der Schätzung.)

N-Ausscheidungen	Einheit	2005	2010	2020
Milchkühe	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	116,8	126,8	145,5
Kälber	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	16,0	16,0	16,0
Färsen	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	40,0	40,0	40,0
Mastbullen	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	36,7	36,0	36,0
Mutterkühe	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	82,0	82,0	82,0
Zuchtbullen	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	84,0	84,0	84,0
Sauen	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	26,3	26,3	26,3
Aufzuchtferkel	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	2,7	2,7	2,7
Mastschweine	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	16,3	16,3	16,3
Zuchteber	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	27,7	27,7	27,7
Mutterschafe	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	10,0	10,0	10,0
Erw. Schafe ohne Mutterschafe	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	10,0	10,0	10,0
Lämmer	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	3,0	3,0	3,0
Großpferde	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	53,6	53,6	53,6
Kleinpferde	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	33,4	33,4	33,4
Legehennen	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	0,81	0,81	0,81
Junghennen	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	0,31	0,31	0,31
Masthähnchen	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	0,51	0,51	0,51
Gänse	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	0,55	0,55	0,55
Enten	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	1,48	1,48	1,48
Putenhähne	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	2,28	2,34	2,34
Putenhennen	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ N	1,68	1,71	1,71

2.3 Entwicklung der Häufigkeitsverteilung von Haltungsverfahren

Ungeachtet der im Folgenden beschriebenen Einzelheiten werden für die Szenarien die bei Osterburg (2006) für das Jahr 2010 genannten Häufigkeitsverteilungen für die Haltungs- und Weideverfahren sowie für die Ausbringung verwendet. Die Einzelheiten gehen aus den Tabellen 2.3 und 2.4 hervor. Gegenüber Osterburg (2006) geänderte Zahlen sind halbfett hervorgehoben.

2.3.1 Milchkühe

Die Zeitreihen der Haltungsverfahren in Lüttich et al. (2008) lassen folgende Zusammenhänge erkennen:

- Die Dauer des Weidegangs nimmt stetig ab. Im Jahre 2006 wurden nur noch rund 15 % des N auf der Weide ausgeschieden (Haenel et al., 2008, Tabelle AI1005CAT.13). Mit einer weiteren Abnahme ist zu rechnen. Es erscheint angemessen, für das Jahr 2020 einen Anteil von 10 % anzunehmen.

- Der Anteil der auf Gülle stehende Tiere hat zwar in den vergangenen 15 Jahren zugenommen (Lüttich et al., 2008, Tabelle AI1005CAT.11). Moderne Großbetriebe stallen jedoch bei Neubauten zunehmend auf Stroh auf (Expertenurteil Pitschmann, Landgesellschaft Mecklenburg-Vorpommern, Leezen). Es wird angenommen, dass 2020 etwa 70 % des ausgeschiedenen N in Güllelager verbraucht werden.

2.3.2 Färsen

Die Zeitreihen der Haltungsformen lassen den Schluss zu, dass die beim Weidegang ausgeschiedenen N-Mengen sich praktisch nicht geändert haben. Dagegen haben güllebasierte Systeme auf Kosten strohbasierter Systeme ein wenig zugenommen. Es erscheint gerechtfertigt, die Verhältnisse des Jahres 2006 fortzuschreiben.

2.3.3 Mastbullen

Die Bullenhaltung in güllebasierten Systemen hat in der Vergangenheit stetig zugenommen. Die Kurve lässt sich ab 1991 extrapolieren (Abb. 2.12).

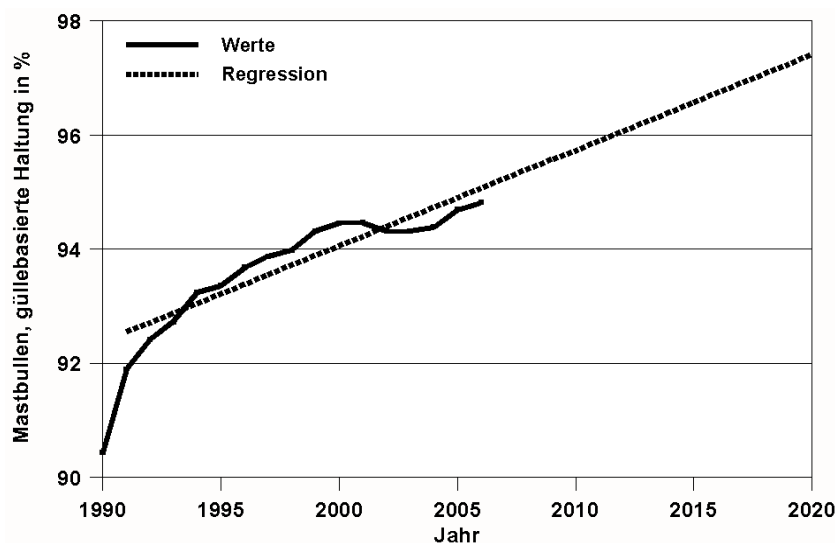


Abb. 2.12: Häufigkeit der güllebasierte Systeme in der Mastbullenhaltung. Die Regression schließt die Werte von 1990 aus. (nichtlineares Verhalten)

2.3.4 Kälber, Mutterkühe und Zuchtbullen

Bei Kälbern und Mutterkühen ändern sich die Haltungsformen nicht. Mögliche Änderungen bei der Haltung von Mastbullen sind ohne Bedeutung.

2.3.5 Zuchtsauen

In der Sauenhaltung ist seit 1995 ein geringfügiger Anstieg der Häufigkeit der güllegebundenen Systeme zu beobachten (Abb. 2.13). Dieser Trend wird fortgeschrieben.

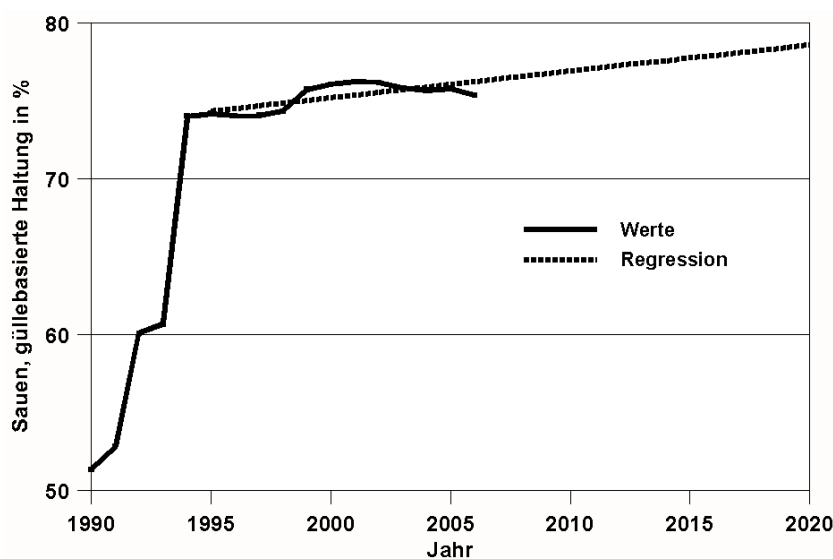


Abb. 2.13: Häufigkeit der güllebasierte Systeme in der Sauen-Haltung. Die Regression schließt die Werte von 1990 bis 1994 aus. (nichtlineares Verhalten)

2.3.6 Aufzuchtferkel, Mastschweine und Zuchteber

Die geringfügige Abnahme der güllebasierten Systeme für Aufzuchtferkel und Mastschweine in den vergangenen 5 Jahren rechtfertigt keine Extrapolation. Die Anzahl der Zuchteber ist unbedeutend. In allen Fällen werden die Haltungsformen von 2006 fortgeschrieben.

2.3.7 Legehennen

Die Nutztierhaltungsverordnung (BMELV, 2006) sieht ab 1.1.2007 für die Haltung von Legehennen neben der Bodenhaltung mit und ohne Volierengestellen nur noch so genannte ausgestaltete Käfige vor, ein Ende der Käfighaltung ist bis Ende 2011 vorgesehen. Danach sind nur noch Boden- und Volierenhaltung mit oder ohne Frei-

landhaltung erlaubt. Für diese Rechnung wurde angenommen, dass im Jahr 2010 noch 50 % der Tiere in Käfigen gehalten werden, 20 % in Bodenhaltung mit Auslauf und 30 % in Volieren. Im Jahre 2020 sind 20 % der Tiere in Bodenhaltung und 80 % in Volierenhaltung.

2.3.8 Anderes Geflügel

Die Haltungsformen ändern sich nicht; alle Tiere werden in Bodenhaltung gehalten.

2.4 Ausbringung und Einarbeitung

Zu Ausbringung und Einarbeitung liegt eine mit BMELV abgestimmte Beschreibung in Osterburg (2006) vor³. Die dort angegebenen Häufigkeitsverteilungen für das Jahr 2010 werden vorläufig auch für das Jahr 2020 angewendet.

Tabelle 2.3: Entwicklung der Stallhaltungs- und Weideverfahren. Durchschnitt für Deutschland, gewichtet nach Stallplätzen in Prozentanteilen (mit BMELV abgestimmte Häufigkeiten für 2010, aus Osterburg, 2006. Diese Zahlen werden vorläufig auch für 2020 verwendet. Von Osterburg (2006) abweichende Zahlen sind halbfett hervorgehoben).

(Die Zahl der angegebenen Stellen hat keine Aussagekraft für die Unsicherheit der Schätzung. Alle Zahlen sind gerundet.)

Kategorie			Einheit	1999	2010	2020
Milchkühe	Stall	Anbindehaltung Festmist	%	13	5	5
		Anbindehaltung Gülle	%	33	17	17
		Boxenlaufstall Festmist	%	3	3	3
		Boxenlaufstall Gülle	%	51	74	74
		Tiefstreu oder Tretmist	%	0	0	0
	Weide	ganzjährig im Stall	%	62	76	76
		halbtägig auf Weide	%	8	2	2
		ganztäglich auf Weide	%	29	22	22
		Anzahl Weidetage	d a ⁻¹	139	120	120
	Fütterung	Anteil Gras-TM an Grundfutter-TM ⁴	%	77	77	77
Bullen	Stall	Anbindehaltung Festmist	%	2	1	0
		Anbindehaltung Gülle	%	3	0	0
		Laufstall Vollspalten	%	91	96	97
		Laufstall Tretmist	%	3	3	3
		Laufstall Tiefstreu	%	0	1	0

³ Der letzte umfassende Datensatz beschreibt das Jahr 1999. In allen nachfolgenden Jahre wurden die Häufigkeitsverteilungen nur leicht modifiziert.

⁴ TM: Trockenmasse

Tabelle 2.3 (Fortsetzung): Entwicklung der Stallhaltungs- und Weideverfahren. Durchschnitt für Deutschland, gewichtet nach Stallplätzen in Prozentanteilen (mit BMELV abgestimmte Häufigkeiten, aus Osterburg, 2006).

(Die Zahl der angegebenen Stellen hat keine Aussagekraft für die Unsicherheit der Schätzung.)

Kategorie			Einheit	1999	2010	2020
Mutterkühe	Stall	Laufstall Gülle	%	5	5	5
		Laufstall Mist	%	86	86	86
		Anbindehaltung Gülle	%	2	2	2
		Anbindehaltung Mist	%	7	7	7
	Weide	Ø Anzahl Weidetage/Jahr	d a ⁻¹	207	207	207
Färsen	Stall	Anbindehaltung Gülle	%	17	17	17
		Anbindehaltung Mist	%	8	8	8
		Laufstall Vollspalten	%	50	49	49
		Laufstall Tiefstreu	%	25	26	26
Mastschweine	Weide	Ø Weidetage/Jahr	d a ⁻¹	171	171	171
	Stall	wärmegedämmt: Gülle, Vollspalten	%	60	81	81
		wärmegedämmt: Teilspalten (40/60)	%	32	14	14
		wärmegedämmt: Einstreu	%	2	1	1
		a) Tiefstreu	%	5	3	3
		b) 2-Flächen	%	0	0	0
		Außenklima: Kistenstall, Tiefstreu	%	0	0	0
	Fütterung	Mehrphasenfütterung	%	71	87	87
Sauen	Stall	Festmist	%	24	23	21
		Gülle	%	76	77	79
Legehennen	Stall	Käfighaltung	%	81	50	0
		Boden + Freiland	%	19	50	100
Junghennen		Bodenhaltung	%	100	100	100
Masthähnchen		Bodenhaltung	%	100	100	100
Gänse		Bodenhaltung	%	100	100	100
Enten		Bodenhaltung	%	100	100	100
Puten		Bodenhaltung	%	100	100	100

Tabelle 2.4: Entwicklung der Güllelagerungs- und Ausbringungsverfahren. Durchschnitt für Deutschland, gewichtet nach Wirtschaftsdüngeraufkommen in Prozentanteilen (aus Osterburg, 2006) (vgl. Fußnote 3)

			Rindergülle			Schweinegülle			
			Einheit	1999	2010	2020	1999	2010	2020
Lagerung									
Dauer	Lagerdauer Gülle in Monaten	Monat a ⁻¹		5	7	7	7	8	8
Technik	Gülle im Stall unter Spaltenboden	%		35	29	29	31	24	24
	Gülle im separaten Güllekeller	%		5	7	7	16	17	17
	Außenlager ohne Abdeckung	%		1	0	0	27	21	21
	Außenlager natürl. Schwimmdecke	%		42	46	46	13	12	12
	Außenlager künstl. Schwimmdecke	%		0	2	2	1	2	2
	Außenlager Folienabdeckung	%		1	1	1	7	8	8
	Außenlager feste Abdeckung	%		17	15	15	6	16	16
Ausbringung									
Technik	Ausbringtechnik Breitverteiler	%		78	64	64	68	46	46
	Bandverteiler/Schleppschlauch	%		18	25	25	27	44	44
	Schleppschuh	%		1	2	2	1	2	2
	Schlitzverfahren	%		2	5	5	2	3	3
	Injektion (Güllegrubber)	%		1	4	4	2	6	6
Management	auf unbedeckten Boden	%		55	44	44	69	55	55
	davon nicht eingearbeitet?	%		7	2	2	9	6	6
	davon sofort (bis ca. 1 Stunde) eingearbeitet	%		12	20	20	21	45	45
	Einarbeitung im Mittel nach	h		17	4	4	17	4	4

2.5 Emissionen von Primärstäuben PM₁₀ und PM_{2,5} aus der Landwirtschaft

2.5.1 Übersicht

GAS-EM erlaubt die Berechnung der PM₁₀- und PM_{2,5}-Emissionen aus dem Ackerbau (nur PM₁₀) und der Tierhaltung in Ställen. Die Rechenverfahren sind zwar international abgestimmt; die Datengrundlage der Emissionsfaktoren ist jedoch äußerst gering.

2.5.2 Emissionsfaktoren

GAS-EM benutzt zur Berechnung der PM₁₀-Emissionen bisher einen Emissionsfaktor von 0,1 kg ha⁻¹ a⁻¹.⁵

⁵ Der jüngste Entwurf des Atmospheric Emission Inventory Guidebooks (2008) sieht vor: $EF_{PM10} = 4,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; $EF_{PM2,5} = 1,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Bei den Tieren existieren für einige Kategorien keine Emissionsfaktoren (Schafe, Junghennen, Gänse, Enten). Zwischen den wichtigsten Haltungsverfahren wird unterschieden. Die derzeit im nationalen Inventar verwendeten Emissionsfaktoren (Dämmgen et al., 2008) sind in Tabelle 2.5 zusammengestellt.

Tabelle 2.5: Emissionsfaktoren für PM-Emissionen aus der Tierhaltung (Stallhaltung)

Tierkategorie	Stalltyp	Emissionsfaktor für PM ₁₀	Emissionsfaktor für PM _{2,5}
		kg Platz ⁻¹ a ⁻¹	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹
Milchkühe	Anbindestall oder Festmist	0,36	0,23
	Boxenlaufstall (Gülle)	0,70	0,45
Mastrinder	Festmist	0,24	0,16
	Flüssigmist	0,32	0,21
Kälber	Festmist	0,16	0,10
	Flüssigmist	0,15	0,10
Sauen	Festmist	0,58	0,094
	Flüssigmist	0,45	0,073
Aufzuchtferkel	Festmist	k. A.	k. A.
	Flüssigmist	0,18	0,029
Mastschweine	Festmist	0,50	0,081
	Flüssigmist	0,42	0,069
Pferde	Festmist ¹⁾	0,18	0,12
Legehennen	Käfighaltung	0,017	0,0021
	Voliere	0,084	0,0162
Masthähnchen und hühnchen	– Festmist	0,052	0,0068
Puten	Festmist	0,032	0,0040
k. A.: keine Angaben			
¹⁾ Holzspäne			

Tierarten, für die keine Emissionsfaktoren vorliegen, wurden im Inventar bei der Summenbildung nicht berücksichtigt.

2.5.3 Emissionen

Die Abb. 2.14 und 2.15 geben einen Überblick über die Zusammensetzung der berechneten PM-Emissionen.

Bei PM₁₀ entstammt etwa die Hälfte der Emissionen der Schweinehaltung. Die Emissionen aus der Rinderhaltung (1990 etwa ein Viertel der Gesamt-Emissionen) hat bis 2006 abgenommen. Die Emissionen aus der Geflügelhaltung haben dagegen zugenommen (2006 etwa ein Viertel der Gesamt-Emissionen). Der Anteil der Emissionen aus der Pferdehaltung ist verschwindend gering.

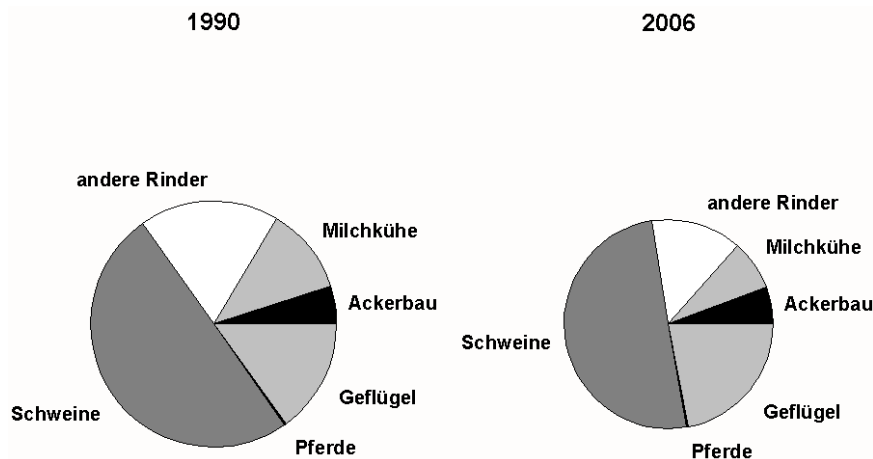


Abb. 2.14: Anteile einzelner Quellgruppen an der Emission von Partikeln PM_{10} . Die Fläche der Kreise ist der Summe der Emissionen proportional. Schafe, Junghennen, Gänse und Enten sind nicht einbezogen.

Bei den Emissionen von $PM_{2,5}$ fehlen Angaben zu den Emissionen aus dem Ackerbau. Der relative Anteil der Rinderhaltung ist deutlich größer als bei PM_{10} , der der Schweine und des Geflügels deutlich geringer. Zu beachten ist, dass die Änderungen in der Legehennenhaltung erhebliche Zunahmen bei den PM-Emissionen zur Folge haben werden.

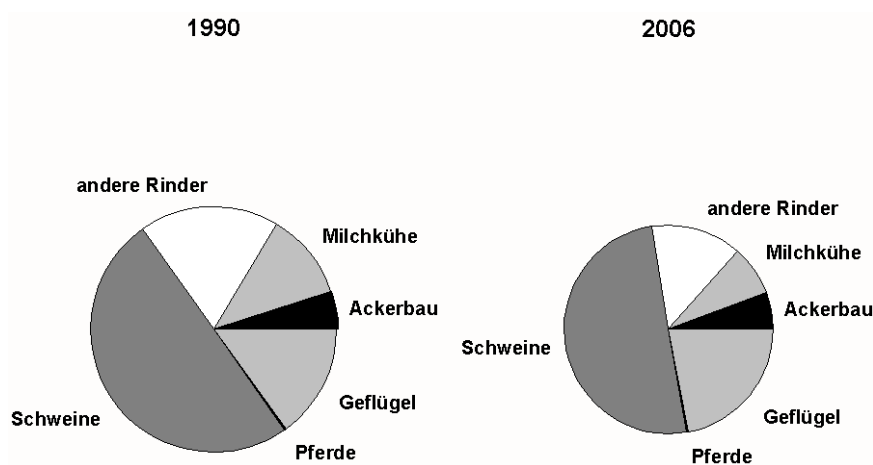


Abb. 2.15: Anteile einzelner Quellgruppen an der Emission von Partikeln $PM_{2,5}$. Weitere Einzelheiten wie in Abb. 2.14.

2.5.4 Emissionsmindernde Maßnahmen bei Staub-Emissionen

Die Rechenverfahren zur Quantifizierung der PM-Emissionen lassen die Beschreibung technischer Maßnahmen zur Emissionsminderung nicht zu. Da nur die im Stall verbrachte Zeit für die Emissionen berücksichtigt wird, wäre die zeitliche Ausdehnung des Weidegangs eine emissionsmindernde Maßnahme. Allerdings hat die Minderung von NH_3 -Emissionen aus dem Stall mit den derzeit bekannten Filter-Anlagen auch erhebliche Minderungen der PM-Emissionen zur Folge.

2.6 Ergebnisse

2.6.1 Tierzahlen

Die Tierzahlen aus Tabelle 2.1 wurden verwendet. Sie stimmen im Wesentlichen mit den für die im europäischen Rahmen bei Prognoserechnungen benutzten Tierkategorien in Tabelle 2.6 überein.

Tabelle 2.6: Tierzahlen, aufgegliedert nach den Eingabekategorien von RAINS. Angaben in Millionen Plätzen

Aktivität	Haltung	2000	2010	2020
Milchkühe	Festmist	0,768	0,286	0,242
	Flüssigmist	3,802	3,568	3,024
andere Rinder	Festmist	3,728	3,209	2,910
	Flüssigmist	6,240	5,041	4,193
Schweine	Festmist	2,012	1,278	1,278
	Flüssigmist	21,388	22,705	22,705
Legehennen		44,119	37,489	31,674
anderes Geflügel		77,673	91,876	109,700
Schafe		2,743	2,594	2,491
Pferde		0,735	0,937	1,169

2.6.2 Emissionen

Die Berechnungen der Emissionen erfolgen unter Verwendung von Datenblättern, die den Stand des Wissens Ende 2007 wiedergeben.

Die prognostizierten Emissionen sind in Tabelle 2.7 zusammengestellt. Die Abbildungen 2.16 und 2.17 veranschaulichen, dass sowohl für NH₃ als auch für PM nicht mit Minderungen zu rechnen ist, sondern mit Emissionen auf gleich bleibendem Niveau.

Die Zeitreihe der NH₃-Emissionen deutet auf eine Kompensation der Minderungen im Nutztierbereich durch Erhöhungen in der Mineraldüngeranwendung hin, die insbesondere durch eine Zunahme der Harnstoff-Anwendung bedingt wird.

Die Veränderungen bei den PM sind eher geringfügig. Abnahmen im Bereich der Säugetierhaltung werden durch Zunahmen bei der Geflügelhaltung überkompensiert.

Für die Berechnung der Emissionen an Treibhausgase wurde der Düngekalk-Aufwand von 2005 unverändert übernommen.

**Tabelle 2.7: Emissionsprognosen für Ammoniak und Stäube PM₁₀ und PM_{2,5}.
Angaben in Gg a⁻¹.**

Die Emissionen aus der Tierhaltung umfassen Emissionen aus der Weidehaltung, dem Stall, plan befestigten Flächen (einschl. Melkstall), Wirtschaftsdüngerlager und -ausbringung.
(Die Zahl der angegebenen Stellen hat keine Aussagekraft für die Unsicherheit der Schätzung.)

	2005 NH ₃	2005 PM ₁₀	2005 PM _{2,5}	2010 NH ₃	2010 PM ₁₀	2010 PM _{2,5}	2020 NH ₃	2020 PM ₁₀	2020 PM _{2,5}
Mineraldünger ohne Harnstoff	1)			13,87			12,71		
Harnstoff	1)			83,63			104,10		
Mineraldünger insgesamt	81,82			97,50			116,81		
Wirtschaftsdün- gerimporte	6,71			6,71			6,71		
Weidegang	13,26			12,00			12,00		
Leguminosenan- bau	1,10			0,80			0,80		
Ackerbau		1,19			1,19			1,19	
Milchkühe	164,23	1,68	1,07	157,53	1,44	0,92	148,91	1,22	0,78
Kälber	4,48	1,22	0,11	4,50	1,15	0,10	4,01	1,02	0,09
Färsen	62,40	0,99	0,66	63,37	1,07	0,71	56,31	0,95	0,63
Mastbullen	34,53	0,58	0,38	28,76	0,50	0,33	21,13	0,36	0,24
Mutterkühe	7,06	0,09	0,06	8,81	0,09	0,06	8,81	0,09	0,06
Zuchtbullen	2,50	0,04	0,03	2,29	0,04	0,02	2,29	0,04	0,02
Σ Kühe ohne Milchkühe	110,96	2,92	1,23	107,73	2,84	1,22	92,54	2,46	1,04
Sauen	25,78	1,39	0,25	23,51	1,37	0,22	23,51	1,37	0,22
Aufzuchtferkel	4,00	0,41	0,08	4,47	0,82	0,13	4,47	0,82	0,13
Mastschweine	110,11	8,41	1,36	99,96	8,39	1,36	99,96	8,39	1,36
Zuchteber	0,40	0,01	0,00	0,43	0,02	0,00	0,43	0,02	0,00
Σ Schweine	140,30	10,23	1,67	128,37	10,59	1,72	128,37	10,59	1,72
Erwachsene									
Schafe	0,71	0,00	0,00	1,93	0,00	0,00	1,85	0,00	0,00
Lämmer	0,71	0,00	0,00	0,72	0,00	0,00	0,72	0,00	0,00
Σ Schafe	1,42	0,00	0,00	2,66	0,00	0,00	2,58	0,00	0,00
Großpferde	8,80			11,19	0,10	0,06	14,04	0,12	0,08
Kleinpferde	2,04			2,75	0,03	0,02	3,39	0,03	0,02
Σ Pferde	10,84	0,08	0,07	13,94	0,12	0,08	17,42	0,15	0,10
Legehennen	16,85	1,09	0,17	15,55	1,89	0,34	14,66	2,66	0,51
Masthähnchen	12,35	2,95	0,39	13,89	3,32	0,43	17,14	4,10	0,54
Junghennen	1,92			1,95	0,00	0,00	1,74	0,00	0,00
Gänse	0,14			0,14	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00
Enten	1,64			1,64	0,00	0,00	1,64	0,00	0,00
Putenhähne	8,79	0,21	0,03	9,89	0,23	0,03	13,13	0,30	0,04
Putenhennen	4,23	0,13	0,02	5,94	0,18	0,02	7,90	0,25	0,03
Σ Junghennen, Gänse, Enten, Puten	16,71	0,34	0,05	19,55	0,41	0,05	24,54	0,55	0,07
Summe Tierhal- tung	480	19,3	4,6	459	20,6	4,8	446	21,7	4,8
Summe betrach- tete Emissionen	577	20,5	4,6	576	21,8	4,8	582	22,9	4,8

¹⁾ Die NH₃-Emissionen für Harnstoff bzw. für Dünger ohne Harnstoff werden im Inventar nicht gesondert berechnet.

Tabelle 2.8: Emissionsprognosen für Lachgas, Stickstoffmonoxid, Methan und Kohlenstoffdioxid ohne Berücksichtigung von N₂O-Emissionen aus organischen Böden und Ernterückständen).

Angaben in Gg a⁻¹.

(Die Zahl der angegebenen Stellen hat keine Aussagekraft für die Unsicherheit der Schätzung.)

Aktivität	2010 N ₂ O	2010 NO	2010 CH ₄	2010 CO ₂	2020 N ₂ O	2020 NO	2020 CH ₄	2020 CO ₂
Mineraldünger	27,18	27,34		1506	27,01	27,42		1874
Wirtschaftsdünger	14,56	12,91			13,27	12,67		
Weidegang	2,75	2,34			2,70	2,34		
indirekte Emissionen	17,92				17,92			
Ernterückstände		10,41				10,41		
Düngerkalk				1456				1456
Milchkühe	2,19	0,30	512		2,15	0,29	471	
Kälber	0,18	0,06	4		0,16	0,05	4	
Färsen	0,89	0,20	180		0,79	0,17	160	
Mastbullen	0,42	0,06	133		0,31	0,04	98	
Mutterkühe	0,12	0,02	41		0,12	0,02	41	
Zuchtbullen	0,05	0,01	27		0,05	0,01	27	
Σ Kühe ohne Milchkühe	1,65	0,34	385		1,42	0,29	330	
Sauen	0,20	0,03	20		0,20	0,03	20	
Aufzuchtferkel AOE	0,04	0,01	7		0,04	0,01	7	
Mastschweine AOE	0,92	0,13	121		0,92	0,13	121	
Zuchteber	0,00	0,00	0,3		0,00	0,00	0,3	
Σ Schweine	1,16	0,16	149		1,16	0,16	149	
Erwachsene Schafe	0,01	0,00	21		0,01	0,00	20	
Lämmer	0,02	0,00			0,02	0,00		
Σ Schafe	0,03	0,00	21		0,03	0,00	20	
Großpferde	0,17	0,02	15		0,22	0,03	19	
Kleinpferde	0,01	0,00	4		0,01	0,00	5	
Σ Pferde	0,19	0,03	19		0,23	0,03	24	
Legehennen	0,05	0,01	1,0		0,04	0,01	0,9	
Masthähnchen	0,05	0,01	1,4		0,06	0,01	1,8	
Junghennen	0,01	0,00	0,2		0,01	0,00	0,1	
Gänse	0,00	0,00	0,1		0,00	0,00	0,1	
Enten	0,01	0,00	0,7		0,01	0,00	0,7	
Putenhähne	0,03	0,00	0,8		0,03	0,00	1,1	
Putenhennen	0,01	0,00	0,4		0,02	0,00	0,6	
Σ Junghennen, Gänse, Enten, Puten	0,05	0,01	2,2		0,07	0,01	2,6	
Summe Tierhaltung	5,38	0,85	1091		5,17	0,80	999	
Summe betrachtete Emissionen	68	54	1091	2962	66	54	999	3330

Die entsprechenden Emissionen im Jahre 2005 sind in Tabelle 2.9 zum Vergleich angegeben.

Tabelle 2.9: Vergleichsdaten 2005 zu Emissionen von Lachgas, Stickstoffmonoxid, Methan und Kohlenstoffdioxid ohne Berücksichtigung von N₂O-Emissionen aus organischen Böden und Ernterückständen). Angaben in Gg a⁻¹.

Aktivität	2005 N ₂ O	2005 NO	2005 CH ₄	2005 CO ₂
Mineraldünger	26,69	26,68		598
Wirtschaftsdünger	13,17	12,57		
Weidegang	4,19	2,34		
indirekte Emissionen	16,80			
Ernterückstände		10,41		
Düngerkalk				1602
Milchkühe	1,31	0,18	541	
Kälber	0,19	0,07	5	
Färsen	0,75	0,18	191	
Mastbullen	0,30	0,04	160	
Mutterkühe	0,11	0,02	42	
Zuchtbullen	0,03	0,00	10	
Σ Kühe ohne Milchkühe	1,38	0,30	408	
Sauen	0,23	0,03	21	
Aufzuchtferkel	0,04	0,01	7	
Mastschweine	0,83	0,11	119	
Zuchteber	0,00	0,00	0,3	
Σ Schweine	1,11	0,15	147	
Erwachsene Schafe	0,01	0,00	22	
Lämmer	0,02	0,00		
Σ Schafe	0,03	0,00	22	
Großpferde	0,15	0,02	13	
Kleinpferde	0,03	0,00	3	
Σ Pferde	0,18	0,03	16	
Legehennen	0,05	0,01	1,0	
Masthähnchen	0,05	0,01	1,3	
Junghennen	0,01	0,00	0,2	
Gänse	0,00	0,00	0,0	
Enten	0,01	0,00	0,1	
Putenhähne	0,02	0,00	0,8	
Putenhennen	0,01	0,00	0,3	
Σ Junghennen, Gänse, Enten, Puten	0,05	0,01	1,3	
Summe Tierhaltung	4,19	0,69	1137	
Summe betrachtete Emissionen	65	53	1137	2200

Aus den Emissionen errechnen sich die Treibhausgas-Emissionen gemäß

$$E_{\text{GHG}} = E_{\text{CH}_4} \cdot GWP_{\text{CH}_4} + E_{\text{N}_2\text{O}} \cdot GWP_{\text{N}_2\text{O}} + E_{\text{CO}_2}$$

mit

E_{GHG}	Treibhausgas-Emissionen (in Gg a ⁻¹ CO ₂ -Äquivalenten)
E_{CH_4}	CH ₄ -Emission (in Gg a ⁻¹ CH ₄)
GWP_{CH_4}	Treibhaus-Potenzial von CH ₄ (in kg kg ⁻¹)
$E_{\text{N}_2\text{O}}$	N ₂ O-Emission (in Gg a ⁻¹ N ₂ O)
$GWP_{\text{N}_2\text{O}}$	Treibhaus-Potenzial von N ₂ O (in kg kg ⁻¹)
E_{CO_2}	CO ₂ -Emission (in Gg a ⁻¹ CO ₂)

Als Treibhaus-Potenziale werden nach IPCC (2005) die folgenden Werte verwendet:

CH ₄	25 kg kg ⁻¹
N ₂ O	298 kg kg ⁻¹

Daraus ergeben sich für die gesamte Landwirtschaft Treibhausgas-Emissionen von

2010	50,3 Tg a ⁻¹ CO ₂ -eq
2020	47,9 Tg a ⁻¹ CO ₂ -eq

Mit der Verringerung der NH₃-Emissionen wird eine Verringerung der Treibhausgas-Emissionen einhergehen.

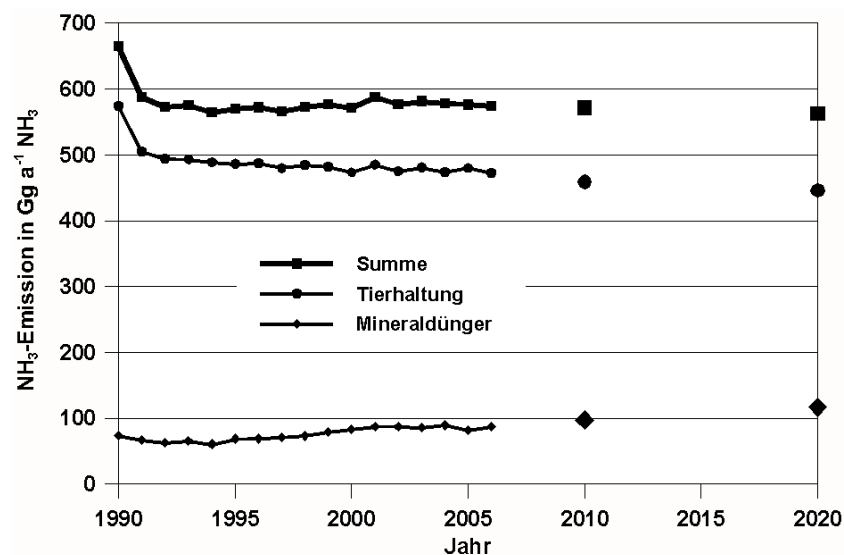


Abb. 2.16: Entwicklung und Prognose der NH₃-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft

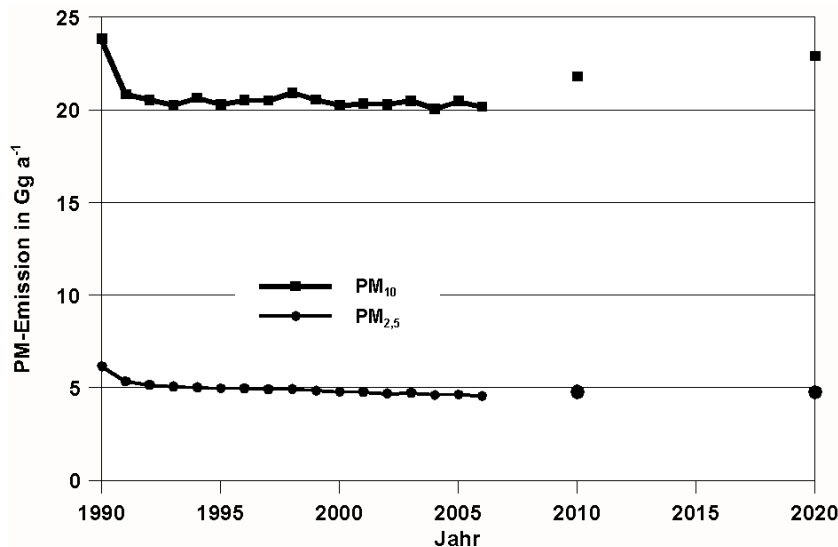


Abb. 2.17: Entwicklung und Prognose der PM-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft (ohne Schafe, Junghennen, Gänse und Enten)

2.6 Literatur

BMELV – Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2006): Bekanntmachung der Neufassung der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung vom 22. August 2006. Bundesgesetzblatt 2006 Teil I Nr. 41, 2043-2056.

Dämmgen, U.; Haenel, H.-D.; Rösemann, C.; Conrad, J.; Lüttich, M.; Eurich-Menden, B.; Döhler, H.; **Laubach, P.**; Müller-Lindenlauf, M.; Osterburg, B. (2008): Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2009 für 2007. Methoden und Daten (GAS-EM). Landbauforschung Völkenrode, in Vorbereitung

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2005): IPCC/TEAP: Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons. Cambridge University Press, Cambridge. 488 S.

Haenel, H.-D.; Dämmgen, U.; Rösemann, C.; Conrad, F.; Lüttich, M.; Eurich-Menden, B.; Döhler, H.; **Laubach, P.**; Müller-Lindenlauf, M.; Osterburg, B. (2008): Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2009 für 2007. Tabellen. Landbauforschung Völkenrode, in Vorbereitung

Osterburg, B. (2006): Annahmen für die Prognose der Gasemissionen aus der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2010. Typskript, FAL-Institut für Ländliche Räume

3 Maßnahmen in der Landwirtschaft – Übersicht

Die in den Kapiteln 4 bis 7 beschriebenen Maßnahmen sind in Tabelle 3.1 zusammengestellt. Die Minderungspotenziale beziehen sich auf das Referenzszenario für 2020, das in den Tabellen 2.7 und 2.8 dargestellt ist. Minderungsmaßnahmen in der Landwirtschaft können nicht unmittelbar greifen. Ein Minderungspotenzial für 2010 ist im Jahr 2008 nicht formulierbar. Die Beiträge zu den Emissionsminderungen im Jahr 2015 sind jeweils die Hälften der für 2020 angegebenen Minderungen.

Wenn ein Minderungspotenzial (noch) nicht quantifizierbar ist, wird „n.q.“ angegeben.

Wenn eine Minderung bereits in den Prognosen enthalten ist, wird sie nicht berücksichtigt („n.b.“).

Tabelle 3.1: Übersichtstabelle zur Wirksamkeit der betrachteten Maßnahmen im Sektor Landwirtschaft auf NH₃-Emissionen

Maßnah- mencode	Subsektor	Maßnahme	NH ₃ -Emissionen in Gg a ⁻¹ NH ₃		
			2010	2015	2020
L 001	Tierhaltung	Erhöhung der Milchleistung bei Milchkühen	n.b.	n.b.	n.b.
L 002	Tierhaltung	Erhöhung der Zahl der Laktationen je Milchkuh	n.b.	n.b.	n.b.
L 003	Tierhaltung	Anpassung der Milcheiweiß-Gehalte an ein verändertes Verbraucherverhalten		2	5
L 004	Tierhaltung	Verkürzung der Mastdauer bei Mastbullen		0	0
L 005	Tierhaltung	Verkürzung der Mastdauer bei Mastschweinen		0	0
L 006	Tierhaltung	Verkürzung der Mastdauer bei Masthähnchen und -hühnchen		0	0
L 007	Tierhaltung	Verringerter Aufenthalt im Stall - Verlängerung des Weidegangs bei Milchkühen		2	4
L 008	Tierhaltung	Umstellung auf Festmistverfahren		3	6
L 009	Tierhaltung	Einsatz von Abluftreinigungsanlagen in der Schweinehaltung		10	20
L 010	Tierhaltung	Abdeckung der Wirtschaftsdüngerlager		2	5
L 011	Tierhaltung	Veränderung der Ausbringtechnik und Verringerung der Zeit bis zur Einarbeitung		10	20
L 012	Pflanzenbau	Anpassung der Düngermengen an den Düngerbedarf		12	25

Tabelle 3.1: Übersichtstabelle zur Wirksamkeit der betrachteten Maßnahmen im Sektor Landwirtschaft auf NH₃-Emissionen (Fortsetzung)

Maßnah- mencode	Subsektor	Maßnahme	NH ₃ -Emissionen in Gg a ⁻¹ NH ₃		
L 013	Pflanzen- bau	Verringerter Einsatz von Harnstoff-Düngern		15	30
L 014	Pflanzen- bau	Kombination von Düngung nach Empfeh- lung und verringertem Einsatz von Harn- stoff-Düngern		20	40
L 015	Pflanzen- bau	Einsatz von Leguminosen zur N-Versor- gung der Pflanzenbestände	n.q.	n.q.	n.q.
		Summen (ohne L 012 und L 013, da L 014 diese als Kombination enthält)		49	100

Tabelle 3.2: Übersichtstabelle zur Wirksamkeit der betrachteten Maßnahmen im Sektor Landwirtschaft auf direkte PM-Emissionen im Jahr 2020

Maßnah- mencode	Subsektor	Maßnahme	PM-Emissionen in Gg a ⁻¹ PM	
			PM _{2,5}	PM ₁₀
L 001	Tierhaltung	Erhöhung der Milchleistung bei Milchkühen	0	0
L 002	Tierhaltung	Erhöhung der Zahl der Laktationen je Milchkuh	0	0
L 003	Tierhaltung	Anpassung der Milcheiweiß-Gehalte an ein verändertes Verbraucherverhalten	0	0
L 004	Tierhaltung	Verkürzung der Mastdauer bei Mastbullen	0	0
L 005	Tierhaltung	Verkürzung der Mastdauer bei Mastschweinen	0	0
L 006	Tierhaltung	Verkürzung der Mastdauer bei Masthähnchen und -hühnchen	0	0
L 007	Tierhaltung	Verringerter Aufenthalt im Stall - Verlängerung des Weidegangs bei Milchkühen	gering	gering
L 008	Tierhaltung	Umstellung auf Festmistverfahren	-0,05	-0,1
L 009	Tierhaltung	Einsatz von Abluftreinigungsanlagen in der Schweinehaltung	0,4	3
L 010	Tierhaltung	Abdeckung der Wirtschaftsdüngerlager	0	0
L 011	Tierhaltung	Veränderung der Ausbringtonik und Verringe- rung der Zeit bis zur Einarbeitung	0	0
L 012	Pflanzenbau	Anpassung der Düngermengen an den Dünger- bedarf	0	0
L 013	Pflanzenbau	Verringerter Einsatz von Harnstoff-Düngern	0	0

Tabelle 3.2: Übersichtstabelle zur Wirksamkeit der betrachteten Maßnahmen im Sektor Landwirtschaft auf direkte PM-Emissionen im Jahr 2020 (Fortsetzung)

Maßnah- mencode	Subsektor	Maßnahme	PM-Emissionen in Gg a ⁻¹ PM	
			PM _{2,5}	PM ₁₀
L 014	Pflanzenbau	Kombination von Düngung nach Empfehlung und verringertem Einsatz von Harnstoff-Düngern	0	0
L 015	Pflanzenbau	Einsatz von Leguminosen zur N-Versorgung der Pflanzenbestände	0	0

4 Verringerung der N-Ausscheidungen in der Nutztierhaltung

4.1 Die Bedeutung der Minderung der Stickstoff-Ausscheidungen für die Emissionsminderung

Die Ernährung der Nutztiere ist die „Stellgröße“ im Stofffluss von der Primärproduktion bis zum Eintritt etwa der Stickstoff-Spezies in Oberflächen- und Grundwasser.

Abb. 4.1 veranschaulicht den Stofffluss in der Tierernährung: Im Bereich der Futtererzeugung werden N_2O , NO und NH_3 emittiert. Die Mengen und die Anteile sind von der Rationsgröße und -zusammensetzung abhängig. Die Bewertung eines Futters geschieht gegenwärtig über seine Inhaltsstoffe und seinen Preis. Im Hinblick auf die Notwendigkeit emissionsmindernder Maßnahmen sollten Emissions-Angaben ebenfalls Bedeutung erhalten.

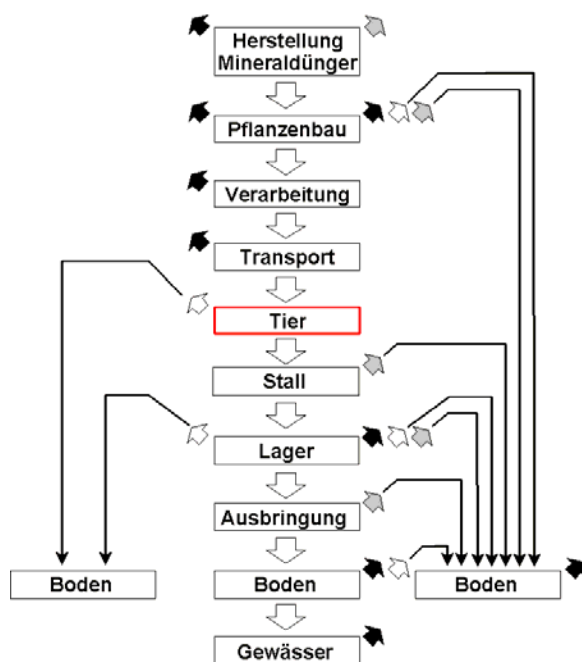


Abb. 4.1: Zentrale Stellung des Nutztieren (und damit der Tierernährung) in den Stoffflüssen von C und N und die Spurengas-Emissionen. Bedeutung der Pfeile: Pfeile nach links oben: Schwarze Pfeile: CO_2 -Emissionen, offene Pfeile: CH_4 -Emissionen. Rechte Seite: Schwarze Pfeile: N_2O -Emissionen, offene Pfeile: NO -Emissionen; graue Pfeile: NH_3 -Emissionen. Die dünnen Pfeile veranschaulichen die atmosphärische Deposition von CH_4 und von reaktiven N-Spezies mit den nachfolgenden indirekten Emissionen (nach Dämmgen und Haenel, 2008).

Wesentlicher Ansatzpunkt bei der Fütterung ist die Vermeidung von Überschüssen und die Optimierung der Futtermischung hinsichtlich Verdaulichkeit und Umsetzbarkeit bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Tiergesundheit. Dies betrifft sowohl die Emissionen aus der Verdauung als auch die Ausscheidungen von umsetzbaren C-

und N-Verbindungen mit Kot und Harn. Wichtig ist, dass diese Ausscheidungen linear in die Berechnungen der nachfolgenden Emissionen eingehen. Im Gegensatz zu den meisten anderen emissionsmindernden Maßnahmen haben diese Minderungen über eine Optimierung der Fütterung keine unerwünschten Nebeneffekte zur Folge.

Tabelle 4.1 verdeutlicht *beispielhaft* die Größenordnungen der Teilquellen.

Tabelle 4.1: Emissionen aus der Haltung einer Milchkuh – ein Rechenbeispiel (aus Dämmgen und Haenel, 2008)

Leistung: 8000 kg a⁻¹ Milch. Zur Deckung des Futterbedarfs: 0,12 ha Grünland, Düngung 150 kg ha⁻¹ a⁻¹ N als KAS; 0,25 ha Gerste, Düngung 190 kg ha⁻¹ a⁻¹ N als AHL; Boxenlaufstall mit Flüssigmist, Lagerung: Güllebehälter mit Schwimmdecke, Ausbringung Breitverteiler auf Grünland.

Die Anzahl der Dezimalstellen lässt keinen Schluss auf die Genauigkeit der Rechnung zu.

(Quellen: Murphy und Röver, 2000; Lüttich et al., 2008)

Quelle	Emissionen in kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO	NH ₃
Düngerherstellung	210,19	5,53	1,11		0,50
Pflanzenbau Raufutter	0,88		0,24	0,23	0,30
Pflanzenbau Kraftfutter	82,31		0,93	0,88	8,22
Verarbeitung und Transport	42,79				
Verdauung		119,2			
Stall					17,80
Lager		18,7	0,95	0,13	3,95
Ausbringung	0,13				43,18
Boden direkt		-1,0	0,79		
Boden indirekt aus Depositionen			0,61		
Gewässer indirekt			0,35		
Summen	339	143	5	1	74

Wichtig ist, dass man bei den emissionsmindernden Maßnahmen die Emissionen bzw. ihre Minderungen auf Einheiten der erzeugten Produkte bezieht.

4.2 Milchkühe

4.2.1 Maßnahme: Erhöhung der Milchleistung bei Milchkühen

	L 001
Kurzbeschreibung <p>Der bisherige Trend zeigt eine Zunahme der Milchleistung im Mittel von etwa 130 l Platz⁻¹ a⁻¹ a⁻¹. Die Milchleistung ist eine entscheidende Einflussgröße für die N-Ausscheidung. N-Ausscheidungen und auch NH₃-Emissionen pro Tier steigen mit der zunehmenden Milchleistung. Dagegen sinken die produktspezifischen Ausscheidungen und damit die NH₃-Emissionen.</p>	
Minderungspotenzial: <p>Die Erhöhung der mittleren Milchleistung je Einzeltier ist in den Szenarien für 2010 und 2020 bereits berücksichtigt. Sie entspricht dem „normalen“ züchterischen Fortschritt. Ein hierüber hinaus gehendes Minderungspotenzial ist nicht erkennbar.</p>	
Umsetzung <p>Die Umsetzung bedarf keiner Steuerung.</p>	
Ansatz <p>Die Entwicklung wird sich vorläufig fortsetzen. Sie ist ökonomisch und ökologisch sinnvoll, solange nicht Herdenmanagement und zunehmende Gesundheitsprobleme beschränkend wirken.</p>	
Kosten <p>Kosten dieser Maßnahme sind nicht quantifizierbar. Qualitativ wird geschätzt, dass die Kosten dieser Maßnahme negativ sind; durch den Einsatz von leistungsfähigeren Milchkühen wird voraussichtlich weniger Geld pro Menge Produkt eingesetzt bei gleichzeitiger Minderung der Produktmengenspezifischen NH₃-Emissionen.</p>	
Umsetzungshemmnisse <p>Entfallen</p>	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) <p>Mit der Minderung der NH₃-Emissionen ist eine Minderung der Freisetzung von Treibhausgasen verbunden.</p>	
Datenquellen/Referenzen <p>siehe Text des Kapitels 4.2.1 und Kapitel 4.6.</p>	

4.2.1.1 Zeitlicher Trend der Milchleistungssteigerung

Der bisherige Trend bei der Milchleistung ist in Kap. 2.1.2.1 beschrieben worden. Die Zunahmen liegen im Mittel bei etwa 130 l Platz⁻¹ a⁻¹ a⁻¹. Die Milchleistung ist eine entscheidende Einflussgröße für die N-Ausscheidung.

4.2.1.2 N-Ausscheidungen mit Kot und Harn

N-Ausscheidungen und auch NH_3 -Emissionen pro Tier steigen mit der zunehmenden Milchleistung (Abb. 4.2). Dagegen sinken die produktbezogenen Ausscheidungen und die NH_3 -Emissionen (Abb. 3.3).

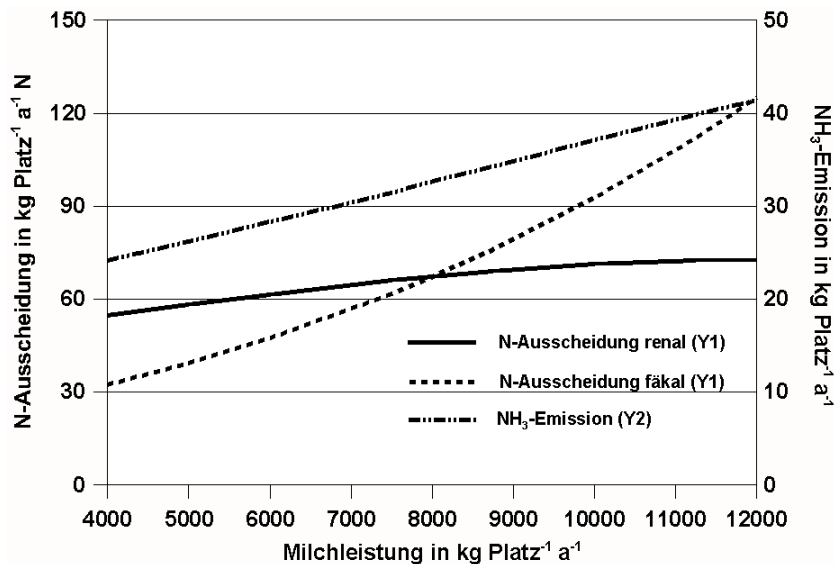


Abb. 3.1: N-Ausscheidungen (links) und NH_3 -Emissionen (rechts) je Tierplatz als Funktion der Milchleistung.
Annahmen für die NH_3 -Emissionen: Boxenlaufstall mit Gülle, Lagerbehälter mit natürlicher Schwimmdecke, Ausbringung mit Schleppschlauch, Einarbeitung nach 4 h.

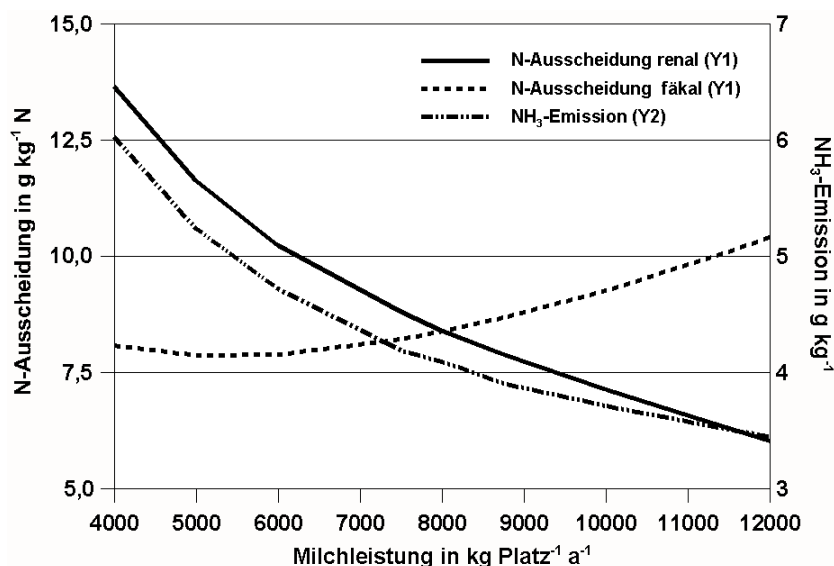


Abb. 4.3: N-Ausscheidungen (links) und NH_3 -Emissionen (rechts) bezogen auf den Liter Milch als Funktion der Milchleistung.
Annahmen für die NH_3 -Emissionen wie in Abb. 4.2.

4.2.1.3 Nebenwirkungen

Mit der Minderung der NH_3 -Emissionen ist eine Minderung der Freisetzung von Treibhausgasen verbunden (vgl. Tabelle 4.1 und 4.2).

Tabelle 4.1: Vergleich der Emissionen einer Milchkuh bei gesteigerter Milchleistung (Angaben in $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1}$, Treibhausgas- (THG-) Emissionen in $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{CO}_2$ -Äquivalenten)

(Gewicht: 650 kg Tier^{-1} ; kein Weidegang. Boxenlaufstall mit Gülle: Lagerbehälter mit Schwimmdecke, Ausbringung: 50 % mit Schleppschlauch auf Ackerland, Einarbeitung nach 4 h, 50 % mit Schleppschuh auf kurzes Grünland.)

Milchleistung 8000 $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1}$	NH_3	N_2O	NO	N_2	CH_4	NMVOC-C	THG
Verdauung	0,0	0,0	0,0	0,0	119,8	0,0	
Melkstall	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Stall	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Lagerung	3,9	1,1	0,1	2,0	18,8	11,4	
Ausbringung	24,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Summe	46,0	1,1	0,1	2,0	138,6	11,4	3793

Milchleistung 8500 $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1}$	NH_3	N_2O	NO	N_2	CH_4	NMVOC-C	THG
Verdauung	0,0	0,0	0,0	0,0	123,7		
Melkstall	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Stall	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Lagerung	4,1	1,1	0,2	2,1	19,2	11,8	
Ausbringung	25,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Summe	47,9	1,1	0,2	2,1	142,9	11,8	3900

Tabelle 4.2: Vergleich der Emissionen einer Milchkuh bei gesteigerter Milchleistung (Angaben in $\text{kg je 1000 kg Milch}$, Treibhausgas- (THG-) Emissionen in kg CO_2 -Äquivalenten je 1000 kg Milch)

(zu Einzelheiten siehe Tabelle 4.1)

Milchleistung	NH_3	N_2O	NO	N_2	CH_4	NMVOC-C	THG
8000 $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1}$	5,75	0,13	0,018	0,25	17,3	1,4	471
8500 $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1}$	5,64	0,13	0,018	0,25	16,8	1,4	459

4.2.1.4 Umsetzbarkeit

Die Entwicklung wird sich vorläufig fortsetzen. Sie ist ökonomisch und ökologisch sinnvoll, solange nicht Herdenmanagement und zunehmende Gesundheitsprobleme beschränkend wirken.

4.2.1.5 Kosten

Eine Angabe entfällt.

4.2.2 Maßnahme: Erhöhung der Zahl der Laktationen je Milchkuh

	L 002
Kurzbeschreibung Die beobachtete Zunahme der Milchleistung im Mittel von etwa 130 l Platz ⁻¹ a ⁻¹ geht einher mit einer Verringerung der Nutzungsdauer der Milchkühe, d. h. einer Verringerung der Zahl der Laktationen (d. h. auch der Anzahl der Kälber je Kuh) und eine Verlängerung der Zeit zwischen den Laktationen (Zwischenkalbezeiten). Eine Erhöhung der Zahl der Laktationen verringert den relativen Anteil der „unproduktiven Zeit“ als Färse und damit die Emissionen je Produkteinheit.	
Minderungspotenzial: Die Abnahme der Zahl der Laktationen je Kuh ist in den Projektionen für 2010 und 2020 bereits enthalten. Eine Zunahme der Zahl der Laktationen würde sich vor allem im Bereich der Hochleistungskühe rechnen, erscheint aber im Moment nicht machbar. Ein Minderungspotenzial kann deshalb nur unscharf formuliert werden.	
Umsetzung Mit einer Umsetzung der Maßnahme (Züchtung von länger nutzbaren Tieren, Verlängerung der Nutzungsdauer in der Praxis) ist nicht zu rechnen.	
Ansatz Die Entwicklung wird sich vorläufig fortsetzen. Sie ist ökonomisch und ökologisch sinnvoll, solange nicht Herdenmanagement und zunehmende Gesundheitsprobleme beschränkend wirken.	
Kosten Kosten dieser Maßnahme dieser Maßnahme sind nicht quantifizierbar.	
Umsetzungshemmnisse Unter den gegenwärtigen Marktbedingungen unwirtschaftlich	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Mit der Minderung der NH ₃ -Emissionen ist eine Minderung der Freisetzung von Treibhausgasen verbunden.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 4.2.2 und Kapitel 4.6.	

4.2.2.1 Folgen der Erhöhung der Milchleistung je Tier für das Herdenmanagement - Milchleistung und Remontierung

Die Vorzüge einer wachsenden Milchleistung sind in Kap. 4.2.1 beschrieben worden. Die Erhöhung der Milchleistung wird allerdings mit einer Reihe von Nachteilen „erkauft“. Hierzu zählen eine Zunahme der Eutererkrankungen und – in geringerem Maße – Abgänge wegen Klauen- und Gliedmaßen-Erkrankungen (vgl. Flachowsky und Brade, 2007). Von Bedeutung ist vor allem die Verringerung der Fruchtbarkeit.

Wenn die Zahl der Laktationen je Kuh-Leben unter 2,5 sinkt, dann muss bei einer Erfolgsrate in der Kälberaufzucht von 85 % und einem Verhältnis von männlichen zu weiblichen Tieren von etwa 1 : 1 jedes weibliche Kalb für die Remontierung eingesetzt. Eine Auswahl nach züchterischen Bewertungen ist damit unmöglich geworden. Legt man ein Erstkalbealter von 24 Monaten und eine (geringfügig von der Milchleistung abhängige) Zwischenkalbezeit von derzeit 390 Tagen zugrunde, dann liegt Deutschland mit einem mittleren Abgangsalter von 4,7 a zurzeit bei etwa 2,7 Kälbern je Kuh. Die Extrapolation der Zeitreihen lässt erkennen, dass spätestens im Jahr 2020 eine kritische Rate von Geburten je Kuh erreicht sein wird. (Abb. 4.4)

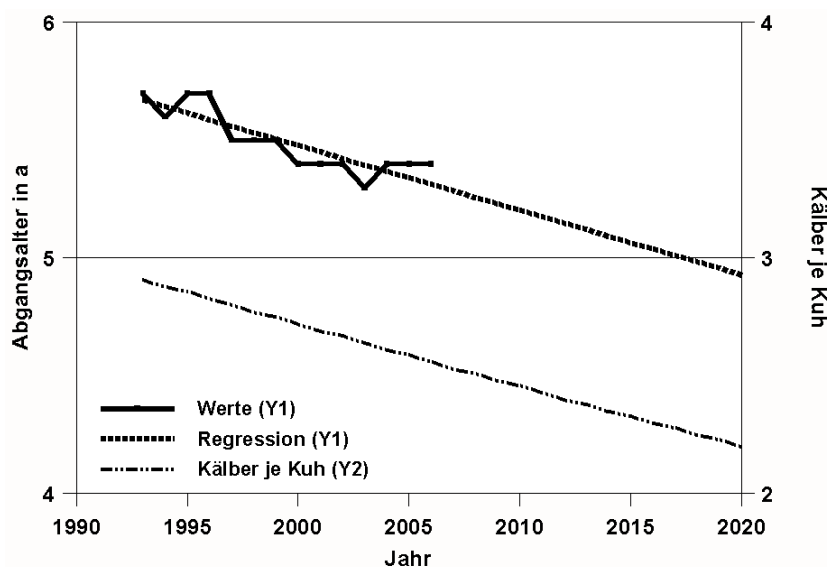


Abb. 4.4: Mittleres Abgangsalter der Milchkühe (links) und Anzahl der Kälber je Kuh (rechts) (Quelle: ADR, 1993 – 2007)

Hieraus ergibt sich – will man nicht neben der Milchproduktionslinie eine Mutterkuhhaltung zur gezielten Erzeugung von Milchkühen etablieren – die Frage nach der Verlängerung der Lebensdauer der Milchkühe und eine Heraufsetzung der Zahl der Kälber bzw. der Laktationen je Kuh.

4.2.2.2 Einfluss der Zahl der Laktationen auf die NH₃-Emissionen

Der Umstand, dass eine Milchkuh bis zur 1. Laktation etwa 2 Jahre emittiert, ohne Milch zu produzieren, lässt eine Verringerung der auf das Produkt bezogenen Emissionen erwarten, wenn die Zahl der Kälber steigt. Die Zunahme der produktiven Lebenszeit ist auch an eine Verringerung der Zahl der Milchkühe insgesamt geknüpft, so dass man die daraus resultierende veränderte Herdenleistung berücksichtigen muss.

Abb. 4.5 veranschaulicht die je Tonne Milch aus der Herde (Milchkühe mit Färsen zur Remontierung) bei konstanter Herdenleistung freiwerdende NH_3 -Menge. Die errechneten Abnahmen sind umso größer, je niedriger das Leistungsniveau ist und je geringer die Zahl der Laktationen ist. Die Emissionsminderungen sind nicht groß. Sie werden allerdings als Begleiterscheinung eines veränderten Herdenmanagements willkommen sein.

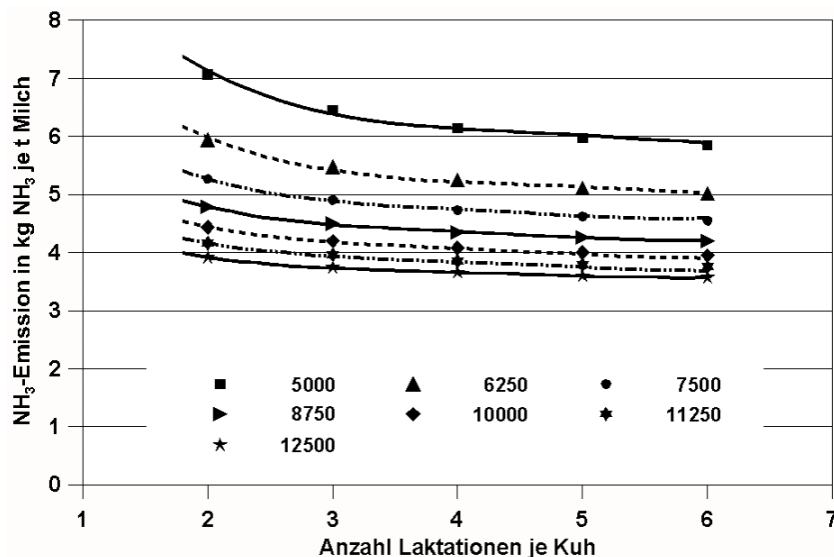


Abb. 4.5: NH_3 -Emissionen aus der Milchkuh-Haltung, berechnet unter Einschluss der Lebenszeit als Kalb und Färsen für unterschiedliche Milchleistungen (5000 bis 12500 kg Platz⁻¹ a⁻¹ Milch) für eine Herde mit konstanter Milchproduktion

4.2.2.3 Nebenwirkungen

Mit der Minderung der NH_3 -Emissionen ist eine Minderung der Freisetzung von Treibhausgasen verbunden. Die in Tabelle 4.3 dargestellten Angaben sind für eine Kuh einschließlich ihrer Zeit als Kalb und Färsen und unter Berücksichtigung eines halben Bullenkalbs pro Laktation errechnet. Die Nachkommen werden also ausschließlich zur Remontierung erzeugt.

Tabelle 4.3: Vergleich der Emissionen einer Kuh als Funktion der Nutzungsdauer (Angaben in g bzw. mg pro 1 kg Milch, Treibhausgas- (THG-) Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten pro 1 kg Milch)

(*Kuh*: Gewicht: 630 kg Tier⁻¹; Leistung: 7500 kg Tier⁻¹ a⁻¹; Erstkalbealter 24 Monate, auf 2 Laktationen ein Bullenkalb. kein Weidegang. Boxenlaufstall mit Gülle: Lagerbehälter mit natürlicher Schwimmdecke, Ausbringung: 50 % mit Schleppschlauch auf Ackerland, 50 % auf Grünland. Einarbeitung nach 4 h. *Kalb*: Kälberstall mit Stroh, Festmist, Einarbeitung nach 4 h. *Färse*: Haltung wie Kuh. *Bulle*: Mast bis 20 Monate: Tiefstreustall, Festmist, Einarbeitung nach 4 h)

Laktationen pro Kuh	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	THG
Einheit	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	kg kg ⁻¹
1	6,36	443	27,30	815
2	5,27	353	23,41	690
3	4,91	323	22,11	649
4	4,73	308	21,46	628
5	4,62	299	21,07	616
6	4,55	293	20,81	608

4.2.2.4 Umsetzbarkeit

Derzeit wird die Verringerung der Laktationen je Kuh als eine Begleiterscheinung der Steigerung der Milchleistung angesehen. Die Verlängerung der Laktationsdauer wird sich ergeben, sofern sie sich als züchterisch machbar und wirtschaftlich sinnvoll erweist. Sie wird nicht als gezielte Maßnahme zur Emissionsminderung eingesetzt werden.

4.2.2.5 Kosten

Kosten sind nicht quantifizierbar.

4.2.3 Maßnahme: Anpassung der Milcheiweiß-Gehalte an ein verändertes Verbraucherverhalten

	L 003
Kurzbeschreibung Eine Anpassung der Milcherzeugung an die Anforderungen des Marktes würde die Erhöhung der Milcheiweiß-Gehalte bei gleichzeitiger Verringerung der Milchfett-Gehalte zur Folge haben. Dies würde in den Energie- und Stickstoff-Haushalt der Milchkühe eingreifen und zu einer Verringerung der N-Ausscheidungen je kg Produkt führen. Dies zieht eine Verringerung der Emissionen aller N-Spezies nach sich.	
Minderungspotenzial: Das Minderungspotenzial beläuft sich auf etwa $4,5 \text{ Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$ je 0,1 % Zunahme der Eiweiß-Gehalte bei gleichzeitiger Abnahme der Fettgehalte um 0,2 %. Eine solche Entwicklung ist über 10 Jahre wahrscheinlich und wird in den Szenarien nicht berücksichtigt.	
Umsetzung Der Wechsel wird marktbedingt erfolgen.	
Ansatz Die bisherige Entwicklung wird sich wahrscheinlich fortsetzen. Der Milchmarkt ist wegen veränderter Nachfragen zurzeit erheblich in Bewegung.	
Kosten Kosten sind nicht quantifizierbar.	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Die Minderung der NH_3 -Emissionen ist mit einer Minderung der Treibhausgas-Emissionen verknüpft.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 4.2.3 und Kapitel 4.6.	

4.2.3.1 Eiweiß- und Fettgehalte der Kuhmilch

Das Verbraucherverhalten in Deutschland hat sich verändert. Der klassische Schwerpunkt der Milchproduktion bestand in der Bereitstellung fetthaltiger Produkte. Hier nimmt der Pro-Kopf-Verbrauch langsam ab. Es steigt der Verbrauch eiweißhaltiger Produkte (siehe Tabelle 4.5).

Ursache dürfte neben einer bewussteren Ernährung auch ein verbessertes Angebot auf dem deutschen Markt sein.

Die veränderte Zusammensetzung der Milch hat eine Veränderung des genetischen Potenzials zur Voraussetzung. Die Züchtung trägt dem bereits Rechnung. Eine Abnahme der Milchfett-Gehalte bei gleichzeitiger Zunahme der Milcheiweiß-Gehalte hat

einen veränderten Energie- und Stickstoff-Haushalt der Kühe mit veränderten N-Ausscheidungen zur Folge.

Tabelle 4.5: Pro-Kopf-Verbrauch von Milchprodukten in Deutschland (Angaben in kg Kopf⁻¹ a⁻¹)

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Konsummilch	66,7	65,0	63,8	63,3	63,4	64,0	64,0	65,4	64,0	64,2
Milchfrischprodukte	23,0	23,0	24,7	26,1	26,5	26,1	27,0	28,5	27,9	28,5
davon Joghurt und Joghurtherzeugnisse	13,1	14,0	15,1	15,4	15,2	14,8	15,5	16,8	16,8	16,9
fetthaltige Produkte										
Sahne und Sahneerzeugnisse	7,6	7,7	7,8	7,8	7,8	8,0	7,6	7,4	7,5	7,6
Butter	7,3	7,0	6,8	6,7	6,6	6,5	6,5	6,6	6,5	6,4
eiweißhaltige Produkte										
Käse gesamt (inkl. Schmelzkäse)	20,3	20,5	20,6	20,7	21,2	21,5	21,7	21,7	21,9	22,1
Hart-, Schnitt- und Weichkäse	9,7	10,0	10,2	10,2	9,7	9,9	9,9	10,1	10,3	10,5
Frischkäse und Quark	8,8	8,7	8,7	8,7	9,6	9,8	9,9	9,8	9,7	9,7
Schmelzkäse	1,4	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6
Quelle: ZMP (2007), aus MLR (2007)										

4.2.3.2 N-Ausscheidungen mit Kot und Harn

Die Zunahme der Milcheiweiß-Gehalte bei gleichzeitiger Abnahme der MilCHFett-Gehalte führt bei gleich bleibender Milchleistung und gleich bleibendem Körpergewicht zu einer Abnahme der ausgeschiedenen N-Mengen je Tier; dabei sind vor allem die mit dem Harn ausgeschiedenen N-Mengen betroffen, aus denen NH₃ freigesetzt wird. (Abb. 4.6)

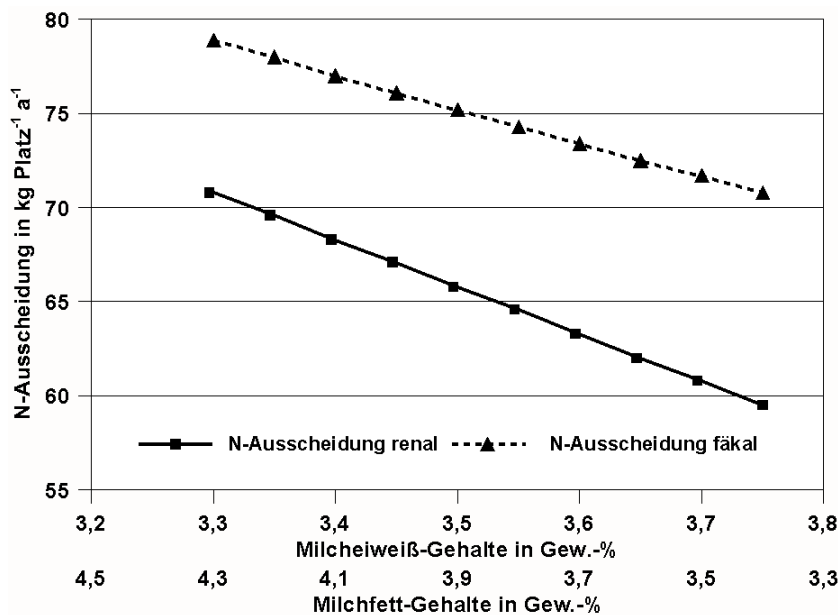


Abb. 4.6: N-Ausscheidungen einer Milchkuh (Jahresleistung 9000 kg Platz⁻¹ a⁻¹, Gewicht 630 kg Tier⁻¹) als Funktion veränderter Milcheiweiß- und Milchfett-Gehalte bei angepasster Fütterung

Bei gleicher Haltung (Boxenlaufstall mit Gülle, Lagerbehälter mit natürlicher Schwimmdecke, Ausbringung auf Ackerland mit Schleppschlauch, Einarbeitung nach 4 h) ergibt sich dabei eine Minderung der NH₃-Emissionen, wie sie – bezogen auf die Produktion von 1000 kg Eiweiß – in Abb. 4.7 dargestellt ist.

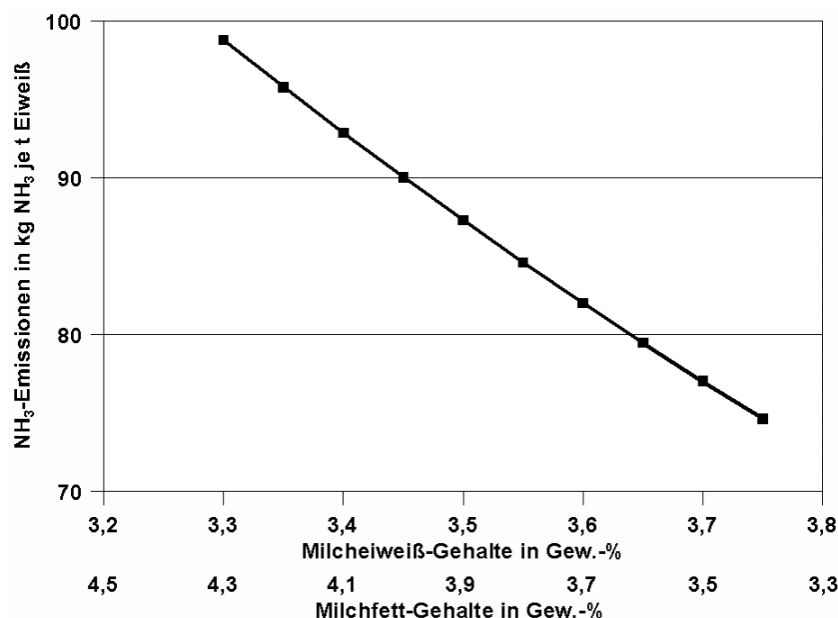


Abb. 4.7: NH₃-Emissionen je Tonne produzierten Eiweißes einer Milchkuh-Herde (Jahresleistung 9000 kg Platz⁻¹ a⁻¹, Gewicht 630 kg Tier⁻¹) als Funktion veränderter Milcheiweiß- und Milchfett-Gehalte bei angepasster Fütterung und gleich bleibendem Management (siehe Text)

Das Ausmaß der tatsächlichen Emissionsminderung ist eher gering, da die züchterischen Fortschritte nur langsam verwirklicht werden (Brade et al., 2008). Emissionsminderungen sind eher ein willkommenes Nebenprodukt der züchterischen Maßnahmen, die zur Anpassung der Tierleistung an die Nachfrage dienen.

4.2.3.3 Szenarien

Unter Beibehaltung der in Kap. 2.3 beschriebenen sonstigen Randbedingungen wurden die MilCHFett-Gehalte der gesamten Herde in Schritten von 0,2 % gesenkt und die der Milcheiweiß-Gehalte gleichzeitig um 0,1 % erhöht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.6 zusammengestellt.

Tabelle 4.6: Entwicklung der NH₃-Emissionen der deutschen Milchkuh-Herde bei steigenden Milcheiweiß- und sinkenden MilCHFett-Gehalten. Tierzahlen und Haltungsbedingungen wie in Kap. 2.3 beschrieben

MilCHFett-Gehalt	Milcheiweiß-Gehalt	NH ₃ -Emissionen	
		2010	2020
%	%	Gg a ⁻¹ NH ₃	Gg a ⁻¹ NH ₃
4,1	3,4	157,53	148,91
3,9	3,5	152,88	144,18
3,7	3,6		139,46

4.2.3.4 Nebenwirkungen

Mit der Minderung der NH₃-Emissionen ist eine Minderung der Freisetzung von Treibhausgasen verbunden (Brade et al., 2008.)

Tabelle 4.7: Vergleich der Emissionen einer Milchkuh als Funktion von Milcheiweiß- und Fettgehalten. Eiweiß-Produktion von konstant 306 kg Platz⁻¹ a⁻¹ bei Milchzusammensetzungen wie in Abb. 4.7 und gleich bleibender Milchmenge (9000 kg Platz⁻¹ a⁻¹) (Angaben in g bzw. kg pro 1 kg Milcheiweiß, Treibhausgas-(THG-)Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten pro 1 kg Milcheiweiß)

(Gewicht: 630 kg Tier⁻¹; kein Weidegang. Boxenlaufstall mit Gülle: Lagerbehälter mit natürlicher Schwimmdecke, Ausbringung mit Schleppschlauch auf Ackerland, Einarbeitung nach 4 h)

Eiweiß-Gehalt	Fett-Gehalt	Eiweiß-Menge	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	THG
%	%	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	kg kg ⁻¹	kg kg ⁻¹
3,30	4,30	297,0	98,8	12,8	0,493	16,13
3,35	4,20	301,5	95,8	12,4	0,483	15,77
3,40	4,10	306,0	92,9	12,1	0,473	15,42
3,45	4,00	310,5	90,1	11,7	0,464	15,08
3,50	3,90	315,0	87,3	11,4	0,454	14,74
3,55	3,80	319,5	84,6	11,0	0,445	14,42
3,60	3,70	324,0	82,0	10,7	0,437	14,11
3,65	3,60	328,5	79,5	10,4	0,428	13,81
3,70	3,50	333,0	77,0	10,1	0,420	13,51
3,75	3,40	337,5	74,7	9,8	0,412	13,22

4.2.3.5 Umsetzbarkeit

Die Anpassung der Milchezusammensetzung wird sich aus den Anforderungen des Marktes ergeben, da sie wirtschaftlich sinnvoll ist. Sie wird nicht zum Zwecke der Emissionsminderung durchgeführt werden.

Die Entwicklung der Milcheiweiß-Gehalte in Deutschland lässt den Schluss zu, dass bis zum Jahr 2020 eine Erhöhung der Gehalte um 0,1 bis 0,2 % wahrscheinlich ist.

Bei einer Verringerung des MilCHFett-Gehaltes um 0,2 % und einer Zunahme des Milch-Eiweiß-Gehaltes um 0,2 % ergibt sich für 2020 eine Abnahme der NH_3 -Emissionen (2020: gesamte Herde $148,9 \text{ Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$; 2020 bei verändertem Fett- und Eiweiß-Gehalt $144,2 \text{ Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$).

4.2.3.6 Kosten

Kosten sind nicht schätzbar.

4.3 Maßnahme: Verkürzung der Mastdauer bei Mastbullen

	L 004
Kurzbeschreibung Intensitätssteigerungen bei Mastprozessen haben stets eine Verringerung der produktbezogenen Emissionen zur Folge. Dies trifft auch für die Bullenmast zu. Minderungspotenzial: Je 100 g Tier ⁻¹ Änderung der Gewichtszunahme errechnet sich eine Emissionsminderung von rund 0,8 Gg a ⁻¹ NH ₃ .	
Umsetzung Die Änderung der Mastintensität ist vom Verkaufspreis der Bullen und vom Futterpreis abhängig. Die Zahl der produzierten Tiere ist dagegen nur von der Größe der Milchvieherde abhängig. Voraussagen sind kaum möglich.	
Ansatz Eine Änderung der derzeitigen Mastpraxis ist kaum zu beeinflussen.	
Kosten Kosten einer möglichen Maßnahme sind kaum zu quantifizieren,	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Minderungen der NH ₃ -Emissionen sind mit Minderungen der Treibhausgas- und der Staub-Emissionen verknüpft.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 4.3 und Kapitel 4.6.	

4.3.1 Verkürzung der Mastdauer

Die Schlachtgewichte der Mastbullen haben sich in den vergangenen Jahren erhöht. Die täglichen Gewichtszunahmen haben jedoch nicht zugenommen (Abb. 4.8). Dadurch steigt im Prinzip der Erhaltungsaufwand je Tier und damit auch die je Gewichtseinheit aufgenommene Futtermenge. Die betrachteten Zeitreihen beruhen auf Stichproben (ADR, 1994 bis 2007).

4.3.2 N-Ausscheidungen mit Kot und Harn

Erhöht man – wie im Beispiel – die täglichen Zunahmen, so nehmen bei gleichem Schlachtgewicht die N-Ausscheidungen je Platz und Jahr zwar zu, die auf das Produkt (z. B. auf die Gewichtseinheit Schlachtkörpergewicht) bezogenen N-Ausscheidungen und mit ihnen auch die NH₃-Emissionen jedoch nehmen ab (Abb. 4.9).

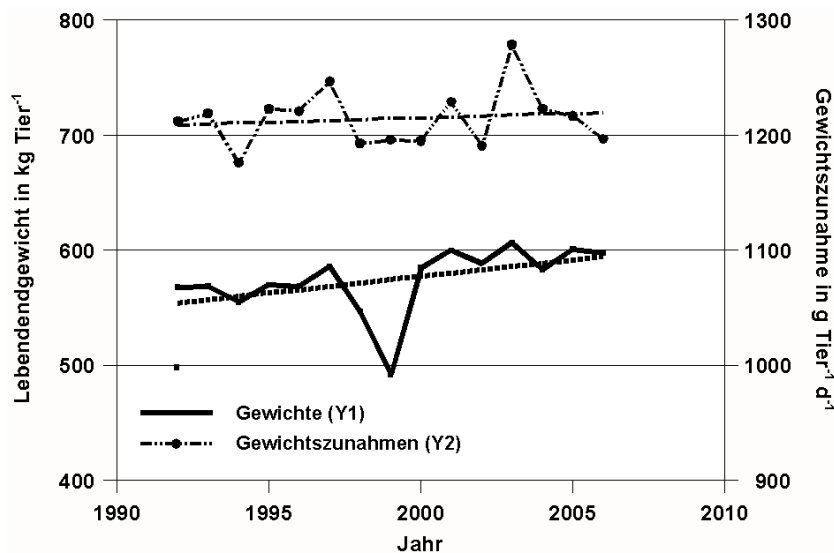


Abb. 4.8: Zeitreihen der Mastendgewichte und der täglichen Gewichtszunahmen bei Mastbulen

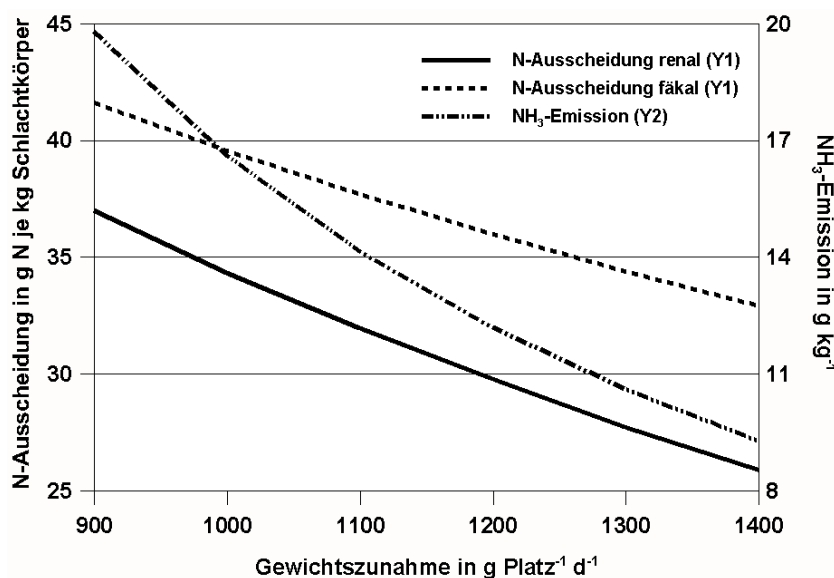


Abb. 4.9: N-Ausscheidungen und NH_3 -Emissionen je kg Schlachtkörper bei Mastbulen (Lebendengewicht: 600 kg Tier^{-1} , Tiefstreu, Festmistlagerung, Ausbringung mit Breitverteiler, 50 % ohne Einarbeitung, 50 % mit Einarbeitung nach 4 h)

4.3.3 Szenarien

Unter Beibehaltung der in Kap. 2.3 beschriebenen sonstigen Randbedingungen wurden die Gewichtszunahmen der gesamten Herde in Schritten von $100 \text{ g Tier}^{-1} \text{ d}^{-1}$ erhöht. Die Zahl der produzierten Tiere bleibt gleich; die Zahl der dafür benötigten Plätze ändert sich. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.8 zusammengestellt.

Tabelle 4.8: Entwicklung der NH₃-Emissionen der deutschen Mastbullen-Herde bei steigenden Gewichtszunahmen. Tierzahlen und Haltungsbedingungen wie in Kap. 2.3 beschrieben

Gewichtszunahme in g Tier ⁻¹ a ⁻¹	Produktivität Tiere Platz ⁻¹ a ⁻¹	NH ₃ -Emissionen	
		2020 kg Tier ⁻¹ NH ₃	2020 Gg a ⁻¹ NH ₃
1338	0,88	16,09	21,1
1200	0,79	17,34	22,8
1300	0,85	16,43	21,6
1400	0,91	15,57	20,4

4.3.4 Nebenwirkungen

Mit der Minderung der NH₃-Emissionen ist eine Minderung der Freisetzung von Treibhausgasen verbunden.

Tabelle 4.9: Vergleich der Emissionen eines Mastbullen als Funktion der mittleren Gewichtszunahme bei gleich bleibendem Schlachtgewicht (Angaben in g bzw. kg pro 1 kg Lebendendgewicht, Treibhausgas-(THG-)Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten pro 1 kg Lebendendgewicht)

(Lebendendgewicht: 600 kg Tier⁻¹; Tiefstreu, Festmistlagerung, Ausbringung mit Breitverteiler 50 % ohne Einarbeitung, 50 % mit Einarbeitung nach 4 h)

Gewichtszunahme	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	THG
g d ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	kg kg ⁻¹	kg kg ⁻¹
900	19,81	0,96	80,43	2,30
1000	16,62	0,81	68,05	1,94
1100	14,16	0,69	58,34	1,66
1200	12,20	0,59	50,52	1,44
1300	10,60	0,51	44,09	1,26
1400	9,29	0,45	38,80	1,10

4.3.4 Umsetzbarkeit

Die Verkürzung der Mastdauer ist wirtschaftlich günstig, kann aber nicht als eigenständige Maßnahme zur Emissionsminderung angesehen werden.

4.3.5 Kosten

Es ist keine Schätzung möglich.

4.4 Maßnahme: Verkürzung der Mastdauer bei Mastschweinen

	L 005
Kurzbeschreibung Intensitätssteigerungen bei Mastprozessen haben stets eine Verringerung der produktbezogenen Emissionen zur Folge. Dies trifft auch für die Schweinemast zu. Minderungspotenzial: Das realistisch erkennbare Potenzial ist vernachlässigbar klein.	
Umsetzung Entfällt	
Ansatz Entfällt	
Kosten Entfällt	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Alle Minderungen der NH ₃ -Emissionen sind auch hier mit (geringfügigen) Minderungen der Treibhausgas-Emissionen verbunden.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 4.4 und Kapitel 4.6.	

4.4.1 Züchterischer Fortschritt

In Deutschland konnte in den Jahren von 1990 bis 2002 eine Zunahme der Schlachtgewichte beobachtet werden; seitdem sind die Schlachtgewichte konstant bei 117 kg Tier⁻¹. Zugenommen hat allerdings die tägliche Gewichtszunahme – die Schweine werden schneller schlachtreif; die Zahl der Durchgänge pro Platz steigt. Dies hat eine Zunahme der Emissionen je Platz, aber eine geringfügige Abnahme der Emissionen pro Einheit des Produkts (z. B. je kg Schlachtgewicht) zur Folge.

4.4.2 Verkürzung der Mastdauer

Verkürzt man bei gleich bleibendem Einstellungsgewicht und gleich bleibendem Schlachtgewicht die Mastdauer durch Erhöhung der täglichen Gewichtszunahme, so ergibt sich eine geringfügige Abnahme der renal ausgeschiedenen N-Menge je Produkteinheit und damit auch eine geringfügige Minderung der NH₃-Emissionen. Die fäkal ausgeschiedenen N-Mengen bleiben praktisch gleich (Abb. 4.10).

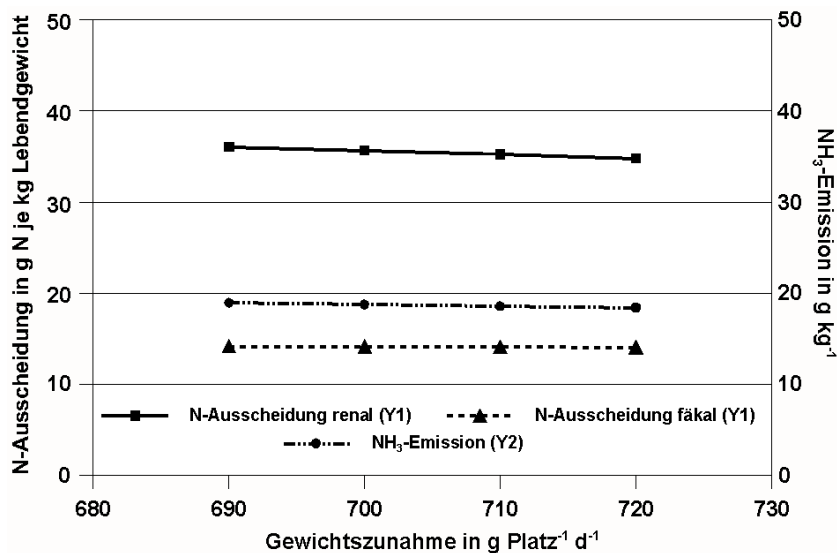


Abb. 4.10: N-Ausscheidungen und NH₃-Emissionen je kg Lebendgewicht als Funktion veränderter täglicher Gewichtszunahmen bei Mastschweinen bei sonst gleich bleibendem Management (Teilspaltenboden, Gülle, Lagerbehälter ohne Abdeckung, Ausbringung auf Ackerland, Schleppschlauchverteiler, Einarbeitung nach 4 h)

Die Änderungen der mittleren Gewichtszunahme lagen bis zum Jahre 2000 bei 10 g Tier⁻¹ d⁻¹ (Dämmgen et al., 2008). Signifikante Änderungen der Emissionen sind dabei nicht zu erwarten.

4.4.3 Nebenwirkungen

Mit der Minderung der NH₃-Emissionen ist eine Minderung der Freisetzung von Treibhausgasen verbunden.

4.4.4 Umsetzbarkeit

Die Steigerung der täglichen Gewichtszunahme kann nicht als Minderungsmaßnahme angesehen werden.

4.4.5 Kosten

Eine Betrachtung entfällt.

4.5 Maßnahme: Verkürzung der Mastdauer bei Masthähnchen und -hühnchen

	L 006
Kurzbeschreibung Intensitätssteigerungen bei Mastprozessen haben stets eine Verringerung der produktbezogenen Emissionen zur Folge. Dies trifft im Prinzip auch die Erzeugung von Masthähnchen und -hühnchen zu. Minderungspotenzial: Das Minderungspotenzial hängt sehr stark vom Verbraucherverhalten ab und ist nicht schätzbar.	
Umsetzung Entfällt	
Ansatz Entfällt	
Kosten Entfällt	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Mit der Minderung von NH ₃ -Emissionen ist eine Minderung der Treibhausgas-Emissionen verbunden.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 4.5 und Kapitel 4.6.	

4.5.1 Züchterischer Fortschritt

Der Gewichtszuwachs pro Tier ist von 1990 bis 2005 um fast 30% gestiegen (Abb. 4.11). Probleme mit der Tiergesundheit sind teilweise die Folge. Daher ist nicht abzuschätzen, inwieweit sich der Gewichtszuwachs-Trend in Zukunft fortsetzen lässt.

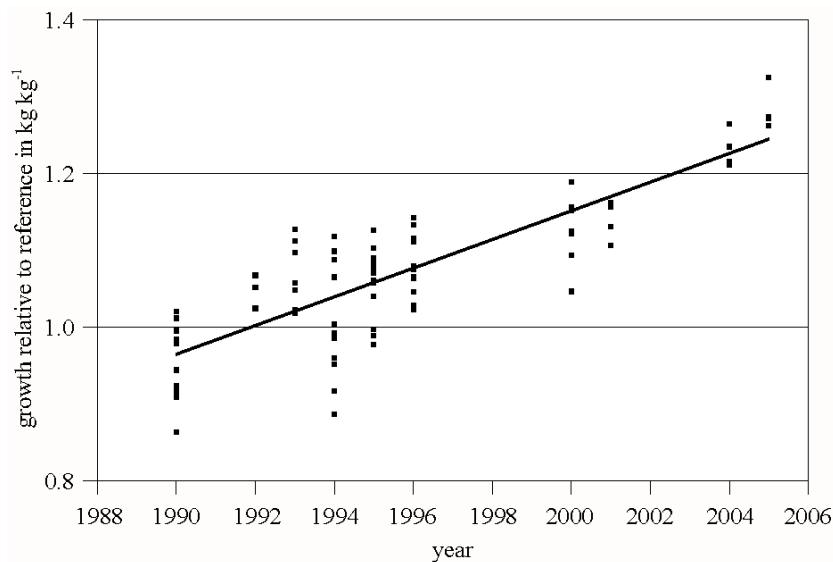


Abb. 4.11: Tendenz des Tiergewichtzuwachses ab Schlüpfen, normiert mit Referenzdaten nach GfE (2000). (aus Haenel und Dämmgen, 2008).

4.5.2 Veränderung der Ernährung

Der (deklarierte) Gehalt an metabolisierbarer Energie im Mastfutter hat seit den 1990er Jahren im Mittel abgenommen, wobei 13 kJ kg⁻¹ eine Untergrenze darzustellen scheinen, s. Abb. 4.12. Der (deklarierte) Gehalt an Rohprotein (XP) im Mastfutter nahm über den gleichen Zeitraum beständig ab (Abb. 4.13). Es ist unklar, wieweit dieser Trend extrapolierbar ist.

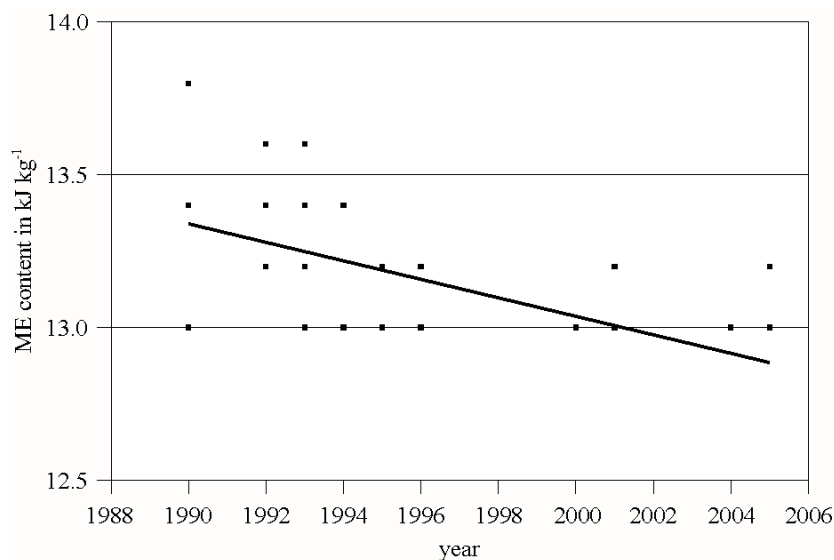


Abb. 4.12: Deklarierter ME-Gehalt im Mastfutter von Herkunfts- und Futterleistungsprüfungen (aus Haenel und Dämmgen, 2008)

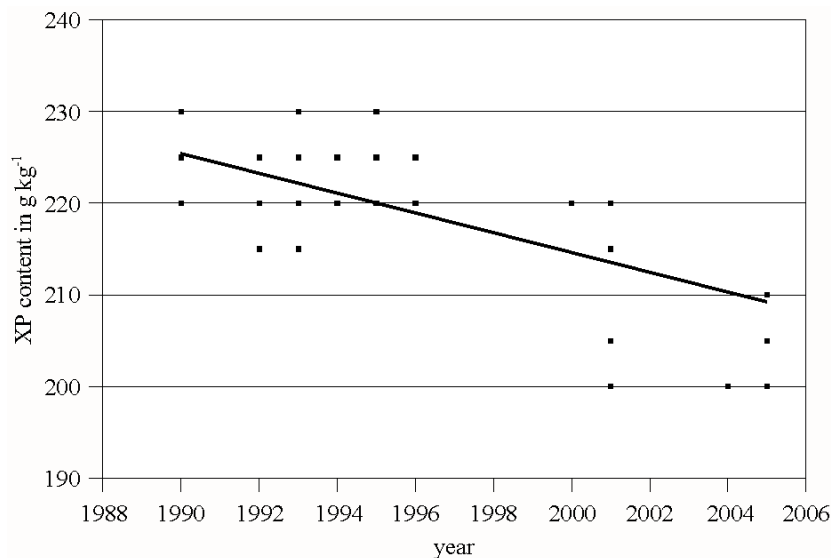


Abb. 4.13: Deklarierter XP-Gehalt im Mastfutter von Herkunfts- und Futterleistungsprüfungen (aus Haenel und Dämmgen, 2008)

Abnehmender Rohprotein-Gehalt im Futter bietet grundsätzlich eine Möglichkeit zur Verringerung der N-Ausscheidung. Dieser Effekt wurde in den zurückliegenden Jahren allerdings schon durch einen merklichen Anstieg der Futteraufnahme überkompensiert, der darauf zurückzuführen ist, dass dem abnehmenden Energiegehalt des Futters ein wachsender Energiebedarf aufgrund höherer Gewichtszuwächse gegenüber stand.

4.5.3 Verkürzung der Mastdauer

Die mittlere Mastdauer in Deutschland ist eine Funktion der relativen Anteile unterschiedlicher Mastverfahren an der Gesamttierplatzzahl. Tabelle 4.10 zeigt für das Tiergewichtsniveau im Jahr 2005 die aus einer Modellrechnung zur Kombinationen verschiedener Mastverfahren resultierenden Werte von mittlerem Zuwachs pro Platz und Jahr und N-Ausscheidung (Haenel und Dämmgen, 2008). Die Ökologische Langmast mit einer Mastdauer von 56 bis 81 Tagen (KTBL, 2004) wurde wegen geringer Verbreitung nicht berücksichtigt. Tabelle 4.10 verdeutlicht, dass kürzere Mastdauern mit geringeren N-Ausscheidung pro Kilogramm Zuwachs verbunden sind.

Tabelle 4.10: Modellierte Mittelwerte von Mastdauer, Zuwachs und N-Ausscheidung für 2005 als Funktion des relativen Anteils verschiedener Mastverfahren an der Tierplatz-Gesamtzahl (Kurzmast: K; Splittingmast: S; Langmast: L). Tierplatzverhältnis von Hähnen zu Hennen generell 1:1; Kurzmast: Mastdauer 33 d, Reinigungszeit 12,5 d; Splittingmast: Mastdauer 32 d (30% der Tiere) bzw. 41 d (70 %), Reinigungszeit 12,7 d; Langmast: Mastdauer 56 d für Hähne, 42 d für Hennen, Reinigungszeit einheitlich 17,6 d. Futterkennwerte in allen Fällen: ME-Gehalt 13 kJ kg⁻¹, Rohproteingehalt 0,21 kg kg⁻¹ (Zur Berechnungsmethode siehe Haenel und Dämmgen, 2008.)

Anteil an Tierplätzen			Mittlere Mastdauer	mittlere Jahresgewichtsproduktion	Mittlere N-Ausscheidung	Mittlere N-Ausscheidung pro kg Zuwachs
K	S	L				
%	%	%	D	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹	g Platz ⁻¹ a ⁻¹	g kg ⁻¹
100	0	0	33,0	15,1	420	28,5
75	25	0	34,3	15,3	436	29,1
50	50	0	35,7	15,5	452	29,7
25	75	0	37,0	15,8	468	30,3
0	100	0	38,3	16,0	484	30,9
50	0	50	41,0	16,5	517	31,8
0	50	50	43,7	16,9	549	32,9
0	0	100	49,0	17,9	613	34,7
Referenz ⁶			38,1	11,6	469	40,4

Eine Verringerung der Mastdauer wäre bei ständig steigender Nachfrage nach Hähnchenfleisch nur durch eine fortgesetzte Steigerung der Gewichtszuwächse zu ermöglichen. Es ist daher davon auszugehen, dass potenzielle Minderungen der N-Ausscheidungsmengen aufgrund von Mastdauerverkürzungen durch einen weiteren Anstieg der Futteraufnahme überdeckt würden.

Mögliche Änderungen des Verbraucherbewusstseins hin zu niedrigerem Fleischverbrauch werden aller Wahrscheinlichkeit nach mit einer steigenden Nachfrage nach Hähnchenfleisch aus ökologischer Langmastproduktion (56 bis 81 Tage Mastdauer nach KTBL, 2004) einhergehen und damit einer Verkürzung der mittleren Mastdauer in Deutschland entgegenwirken. Die ökologische Langmast erzielt über einen längeren Zeitraum insgesamt nur etwa die gleichen Zuwächse wie die normale Langmast. Damit steigt der Erhaltungsaufwand im Vergleich zum erzielbaren Zuwachs, was mit einer Zunahme der zuwachsbezogenen N-Ausscheidungen verbunden ist, die merklich über das Tabelle 4.11 für die normale Langmast angegebenen Maß hinausgeht. Es ist fraglich, ob dieser Effekt durch die potenzielle gleichzeitige Verringerung des Hähnchenfleischkonsums zu kompensieren wäre.

⁶ Der Referenzdatensatz wurde in diesem Fall vor der Entwicklung des detaillierten Rechenverfahrens (in Haenel und Dämmgen, 2008) entwickelt und an IIASA übergeben. Das Rechenbeispiel dient ausschließlich zur Dokumentation der Potenziale.

4.5.3 Nebenwirkungen

Mit der Minderung von NH_3 -Emissionen ist eine Minderung der Freisetzung von Treibhausgasen verbunden.

4.5.4 Umsetzbarkeit

Änderungen bei Mastdauer und Fütterung werden nicht zum Zwecke der Emissionsminderung durchgeführt werden, sondern sich aus den Anforderungen des Marktes ergeben. Letztere werden aller Voraussicht nach einer Minderung der Emissionen entgegenstehen.

4.5.5 Kosten

Eine Schätzung von Kosten ist nicht möglich.

4.6 Literatur

ADR – Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V. (1993 bis 2007): Rinderproduktion. Zucht, Besamung, Leistungsprüfung in Deutschland (Die Daten im Erscheinungsjahr beschreiben jeweils das Vorjahr). ADR, Bonn.

Brade, W., Dämmgen, U., Lebzien, P., Flachowsky, G. (2008): Milcherzeugung und Methan-Emission: Konsequenzen für die künftige Milchrinderzüchtung in Deutschland? Tierärztliche Umschau 63, 189-199

Dämmgen, U., Haenel, H.-D. (2008): Emissions of greenhouse gases and gaseous air pollutants – a challenge for animal nutrition. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 17, 163-167.

Flachowsky, G., Brade, W. (2007): Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. Züchtungskunde 79, 417-465.

Haenel, H.-D., Dämmgen, U. (2008): Consistent time series of data to model volatile solids and nitrogen excretions of poultry. 3. Broilers. Landbauforschung Völkenrode. Eingereicht

Lüttich, M., Dämmgen, U., H.-D., Eurich-Menden, B., Döhler, H., Osterburg, B. (2007): Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2007 für 2005. Tabellen. Landbauforschung Völkenrode 304A

Haenel, H.-D.; Dämmgen, U.; Rösemann, C.; Conrad, J.; Lüttich, M. Eurich-Menden, B.; Döhler, H.; Laubach, P.; Müller-Lindenlauf, M.; Osterburg, B. (2008): Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2008 für 2006. Tabellen. Landbauforschung Völkenrode, in Vorbereitung

MLR – Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg (2007): Material aus der Ernährungswirtschaft des Landes Baden-Württemberg. 2. Versorgungsrechnung. 1 Verbrauch von Milch und Milchprodukten in Deutschland. <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1198302/Versorgungsrechnung.pdf>

Murphy, D.L.P., M. Röver (2000): Betriebsmitteleinsatz: Primärenergieverbrauch und Schadgasemissionen. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 211, 29-52

5 Maßnahmen im Stall

5.1 Sauberkeit im Stall

Die NH_3 -Emissionen im Stall sind u. a. Funktionen der Größe der durch Harn kontaminierten Fläche. Die regelmäßige Reinigung der Ställe verringert Emissionen durch Verringerung der kontaminierten Flächen.

Der Erfolg dieser Maßnahme hängt von baulichen Gegebenheiten, aber auch von der Sorgfalt des einzelnen Landwirts ab. Beides wird in den dem verwendeten Modell nicht abgebildet; statistische Daten hierzu fehlen.

Der Erfolg dieser Maßnahme kann nicht quantifiziert werden.

5.2 **Maßnahme: Verringerter Aufenthalt im Stall - Verlängerung des Weidegangs bei Milchkühen**

	L 007
Kurzbeschreibung Weidegang bei Rindern verursacht bei gleich bleibenden N-Ausscheidungen verringerte NH ₃ -Emissionen.	
Minderungspotenzial: Die Kenntnisse zum Weidegang sind zurzeit zu gering, um eine Schätzung vornehmen zu können. Im Szenario wird deutlich, dass 3 bis 4 Gg a ⁻¹ NH ₃ erreicht werden können.	
Umsetzung Die Ausweitung des Weidegangs wird durch zusätzlichen Zeitaufwand erschwert. Eine Kontrolle der Futteraufnahme wird schwierig.	
Ansatz Die Ausweitung des Weidegangs hängt von den Kosten ab, mit denen Grundfutter erzeugt werden kann.	
Kosten Entfällt	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Eine Verringerung der NH ₃ -Emissionen ist mit einer Verringerung der Treibhausgas-Emissionen verbunden.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 5.2 und Kapitel 5.5.	

5.2.1 **Unterschiede zwischen Stall- und Weidehaltung**

Harnen die Milchkühe auf der Weide, so sickert der Harn in der Regel schnell in den Boden ein. Damit wird der Emissionskoeffizient für NH₃ deutlich kleiner als im Stall. Milchkühe werden meist nicht ganztägig auf die Weide geführt. Sie setzen den weit- aus größeren Teil der Exkremente im Stall und während des Melkens ab. Die Men- gen sind in erster Näherung abhängig von der Aufenthaltsdauer am jeweiligen Ort. Während des Melkens scheiden die Tiere allerdings pro Zeiteinheit mehr aus als im Stall und auf der Weide.

5.2.2 NH₃-Emissionen bei verlängerter Weidehaltung

Die Verlängerung des Weidegangs wirkt erwartungsgemäß emissionsmindernd. Der Umfang der Minderung ist jedoch nicht sehr groß. Abb. 5.1 lässt das Ausmaß der Maßnahme erkennen.

5.2.3 Nebenwirkungen

Verlängerung des Weidegangs bewirkt neben der Verringerung der NH₃-Emissionen auch eine Verringerung der N₂O- und der CH₄-Emissionen.

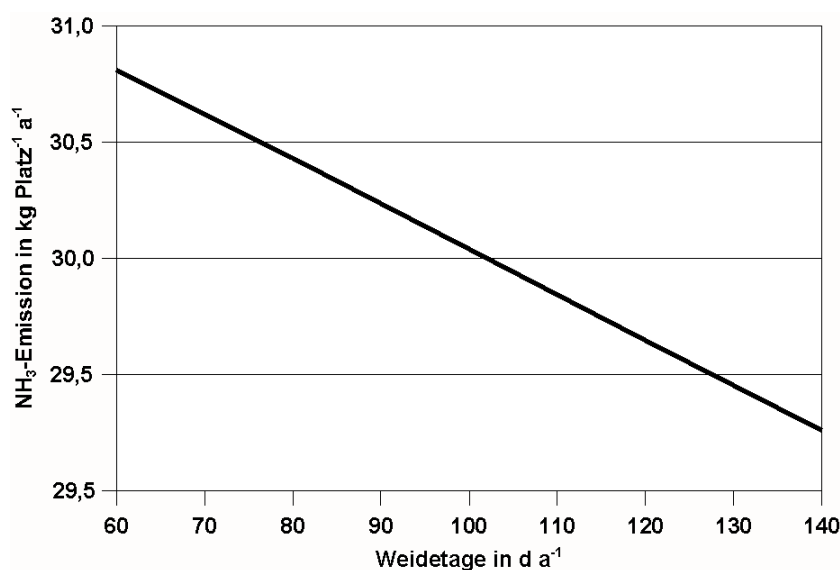


Abb. 5.1: NH₃-Emissionen einer Milchkuh (Jahresleistung 8000 kg Platz⁻¹ a⁻¹, Gewicht 630 kg Tier⁻¹) als Funktion veränderter Weidedauer. Die anderen Haltungsparemeter bleiben unverändert (Weidegang 10 h d⁻¹, Boxenlaufstall auf Gülle, Lagerbehälter mit natürlicher Schwimmdedeke, Ausbringung mit Schleppschlauchverteiler, Einarbeitung nach 4 h)

5.2.4 Umsetzbarkeit

Der Austrieb der Tiere ist arbeitsaufwändig. Die Fütterung auf der Weide stellt eine Herausforderung hinsichtlich der erwünschten Milchleistung dar; bei hohen Milchleistungen wird es zunehmend schwieriger, Tiere mit Weidegang angemessen zu ernähren.

In den Prognosen ist eine Abnahme des Weidegangs berücksichtigt:

Tabelle 4.11: Annahmen zur Weidehaltung in den Prognosen und im Szenario „verlängerte Weidehaltung“. (alle anderen emissionsbestimmenden Variablen wie in Tabelle 2.3)

	Einheit	2005	Prognosen		Szenario
			2010	2020	2020
Anteil Tiere mit ganztägiger Weide	%		22	22	28
Anteil Tiere mit 10-stündiger Weide	%		2	2	10
Anteil Tiere ohne Weide	%		76	76	62
Dauer der Weideperiode	d a ⁻¹	152	120	120	130
auf der Weide ausgeschiedenes N	%	14,7	6,5	6,5	10,0
Milchleistung	kg Tier ⁻¹ a ⁻¹	6765	7389	8719	8719
Milchfett-Gehalt	%	4,1	4,1	4,1	4,1
Milcheiweiß-Gehalt	%	3,4	3,4	3,4	3,4
Lebendgewicht	kg Tier ⁻¹	600	600	600	600

Für die Emissionsberechnung ist auf der Weide ausgeschiedene N-Menge relevant. Das Szenario enthält eine Rechnung für einen Anteil von 10 % in 2020. Die Randbedingungen sind in Tabelle 4.11 zusammengestellt.

Tabelle 4.12: Emissionen aus der Milchkuhhaltung bei veränderter Weidehaltung. (zu den emissionsbestimmenden Variablen siehe Tabelle 4.11)

	Einheit	2005	Prognosen		Szenario
			2010	2020	2020
Tierzahl	Tiere in Tausend	4236,4	3878,5	3287,0	3287,0
Emissionen					
NH ₃	Gg a ⁻¹ NH ₃	170,1	157,6	148,9	145,4
N ₂ O	Gg a ⁻¹ N ₂ O	1,34	2,19	2,15	2,07
NO	Gg a ⁻¹ NO	0,18	0,30	0,29	0,28
CH ₄	Gg a ⁻¹ CH ₄	540,6	512,2	471,3	469,7
NMVOC-C	Gg a ⁻¹ C	41,9	38,9	36,7	35,9
THG	Tg a ⁻¹ CO ₂ -eq	13,9	13,5	12,4	12,4
PM ₁₀	Gg a ⁻¹ PM ₁₀	1,68	1,44	1,22	1,20
PM _{2,5}	Gg a ⁻¹ PM _{2,5}	1,07	0,92	0,78	0,77
N-Eintrag in den Boden	Gg a ⁻¹ N	358	342	335	340

Erkennbar ist, dass eine als machbar eingeschätzte Verlängerung der Weidedauer um durchschnittlich 10 Tage u einer Verringerung der Emissionen um 3 bis 4 Gg a⁻¹ NH₃ bewirkt. Gleichzeitig sinken die PM-Emissionen aus den Ställen geringfügig.

5.2.5 Kosten

Die Kosten lassen sich zurzeit nicht quantifizieren.

5.3 Maßnahme: Umstellung auf Festmistverfahren

	L 008
Kurzbeschreibung Stroh ist in der Lage, einen Teil des Stickstoffs im Harn so zu binden, dass Emissionen im Stall verringert werden. Dabei ändert sich die gesamte Beschreibung der Stickstoff-Pfade.	
Minderungspotenzial: Minderungspotenziale ergeben sich vor allem in der Rinderhaltung, in der Schweinehaltung kaum.	
Umsetzung Schätzung nur schwer möglich, u.a. abhängig von der Entwicklung des ökologischen Landbaus.	
Ansatz Festmistverfahren sind in vielen Bereichen zur Förderung der Tiergesundheit erwünscht. In der Rinderhaltung sind sie ein wirksames Mittel zur Verringerung der NH ₃ - und THG-Emissionen.	
Kosten Kosten derzeit schwer schätzbar.	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Die Maßnahme führt bei Rindern und Mastschweinen zu einer deutlichen Verringerung der Treibhausgas-Emissionen, jedoch auch zu einer Erhöhung der PM-Emissionen aus dem Stall.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 5.3 und Kapitel 5.5.	

5.3.1 Die Immobilisierung von anorganischem Stickstoff in Stroh und deren Auswirkung auf die gesamte Festmistkette

Ein Teil des mit dem Harn ausgeschiedenen N wird im Stroh der Einstreu organisch gebunden und trägt nicht mehr zur NH₃-Freisetzung bei. Während der Lagerung des Festmistes wird ein Teil des immobilisierten N wieder mineralisiert und kann dann zu NH₃, N₂O, NO und N₂ umgesetzt werden. Die quantitative Beschreibung von Immobilisierung und Mineralisierung bei Festmist ist im Modell bisher nur unzureichend möglich (Reidy et al., 2009).

5.3.2 Die NH₃- und Treibhausgas-Emissionen von Gülle- und Festmisthaltung im Vergleich

5.3.2.1 Beispiel Milchkuh

Der weitaus größte Teil der Milchkühe wird in Boxenlaufställen mit Flüssigentmistung gehalten. Eine Umstellung auf Haltung in Boxenlaufställen auf Stroh ist eine Variante, die sowohl emissionsmindernd als auch tiergerechter sein kann (zur Tiergesundheit gibt es keine eindeutigen Aussagen). Anhand von Tabelle 5.1 wird deutlich, dass eine Umstellung auf strohgebundene Verfahren mit einer deutlichen Minderung aller Spurengas-Emissionen verbunden ist.

Emissionen, die aus der Verwendung von Stroh herrühren, sind berücksichtigt. Jauche wird getrennt in einem geschlossenen Behälter gelagert und zu je 50 % auf Ackerland mit Einarbeitung und auf Grünland ohne Einarbeitung ausgebracht.

Tabelle 5.1: Vergleich der Emissionen einer Milchkuh in gülle- bzw. strohbasierten Systemen (Angaben in kg Platz⁻¹ a⁻¹, Treibhausgas-(THG-) Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten) ohne Berücksichtigung der Verdauung

Gülle und Stroh: Milchleistung 8000 kg Platz⁻¹ a⁻¹; Gewicht: 650 kg Tier⁻¹; kein Weidegang.

Gülle: Lagerbehälter mit natürlicher Schwimmdecke, Ausbringung: 50 % mit Schleppschlauchverteiler auf Ackerland, Einarbeitung nach 4 h, 50 % mit Schleppschuhverteiler auf kurzes Grünland.

Stroh: Menge: 4,5 kg Platz⁻¹ d⁻¹; Festmistlagerung, Ausbringung: 50 % mit Breitverteiler auf Ackerland, Einarbeitung nach 4 h, 50 % mit Breitverteiler auf Grünland

güllebasiertes System	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2,5}	THG
Melkstall	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0				
Stall	15,3	0,0	0,0	0,0	0,0		0,36	0,23	
Lagerung	4,0	1,0	0,1	1,8	18,8				
Ausbringung	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
direkt, nach Ausbringung		1,5							
indirekt, Deposition		0,6							
indirekt, Auswaschung		0,3							
Summe	46,9	3,4	0,1	1,8	18,8	22,5	0,36	0,23	1476

strohbasiertes System	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2,5}	THG
Melkstall	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0				
Stall	15,3	0,0	0,0	0,0	0,0		0,70	0,45	
Lagerung	5,6	0,7	0,1	1,3	4,9				
Ausbringung	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0				
direkt, nach Ausbringung		1,1							
indirekt, Deposition		0,5							
indirekt, Auswaschung		0,4							
Summe	30,2	2,6	0,1	1,3	4,9	14,5	0,70	0,45	897

5.3.2.2 Beispiel Mastschwein

Auch die überwiegende Zahl der Mastschweine wird in Ställen ohne Einstreu gehalten. Auch hier würde die Umstellung auf strohbasierte Verfahren eine Erhöhung der NH₃-Emissionen zur Folge haben (Tabelle 5.2). Die Emissionen der Treibhausgase

nehmen ab, die der NMVOC jedoch nimmt zu. Der Anteil der indirekten Emissionen an der Treibhausgas-Emission ist in beiden Fällen erheblich.

Emissionen, die aus der Verwendung von Stroh herrühren, sind berücksichtigt. Jauche wird getrennt in einem geschlossenen Behälter gelagert und zu je 50 % auf Ackerland mit Einarbeitung und auf Grünland ohne Einarbeitung ausgebracht.

Tabelle 5.2: Vergleich der Emissionen eines Mastschweine-Platzes in gülle- bzw. strohbasierten Systemen (Angaben in kg Platz⁻¹ a⁻¹, Treibhausgas- (THG-) Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten) ohne Berücksichtigung der Verdauung

Gülle und Stroh: Mastleistung 691 g Platz⁻¹ d⁻¹; Endgewicht: 115 kg Tier⁻¹. N-Ausscheidung: 15,8 kg Platz⁻¹ a⁻¹. Geschlossener Stall, Teilspalten.

Gülle: Lagerung ohne Schwimmdecke, Ausbringung: 50 % mit Schleppschauchverteiler auf Ackerland, Einarbeitung nach 4 h, 50 % mit Schleppschuhverteiler auf kurzes Grünland.

Stroh: Geschlossener Stall ohne Spalten, Strohmenge: 0,6 kg Platz⁻¹ d⁻¹; Festmistlagerung, Ausbringung: 50 % mit Breitverteiler auf Ackerland, Einarbeitung nach 4 h, 50 % mit Breitverteiler auf Grünland

güllebasiertes System	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2,5}	THG
Stall	3,93	0,00	0,00	0,00	0,0		0,50	0,08	
Lagerung	1,53	0,00	0,00	0,00	6,9				
Ausbringung	1,45	0,00	0,00	0,00	0,0				
direkt, nach Ausbringung		0,17							
indirekt, Deposition		0,08							
indirekt, Auswaschung		0,42							
Summe	6,91	0,67	0,00	0,100	6,9	4,8	0,50	0,08	370

strohbasiertes System	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2,5}	THG
Stall	5,03	0,00	0,00	0,00	0,0		0,42	0,07	
Lagerung	2,02	0,10	0,01	0,19	1,0				
Ausbringung	0,39	0,00	0,00	0,00	0,0				
direkt, nach Ausbringung		0,10							
indirekt, Deposition		0,10							
indirekt, Auswaschung		0,72							
Summe	7,43	0,83	0,01	0,19	1,0	5,2	0,42	0,07	270

5.3.3 Emissionsminderung in Deutschland in der Rinder- und Schweine-Haltung bei Verwendung strohbasierter Haltungsverfahren

Im Szenario „mehr Festmist 2020“ wird angenommen, dass gegenüber dem Referenzszenario 10 % mehr Rinder in Boxenlaufställen mit Einstreu gehalten werden, bei den Schweinen 10 % mehr in wärme gedämmten 2-Flächen-Ställen gemästet werden. Die daraus resultierenden Emissionen sind in den Tabellen 5.3 und 5.4 aufgeführt.

Rinder

Für das Jahr 2020 ergibt eine Zunahme der Haltung in Boxenlaufställen mit Einstreu um 10 % der Tiere zu Lasten der Haltung in Boxenlaufställen mit Gülle eine Reduktion der NH_3 -Emissionen (2020, 75 % der Tiere auf Gülle, 5 % auf Stroh wie in Tabelle 2.7: $148,9 \text{ Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$; 2020 mit 65 % auf Gülle und 15 % auf Stroh: $142,9 \text{ Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$) um rund $6 \text{ Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$.

Dagegen steigen die direkten Emissionen von PM_{10} (2020, Referenz: $1,2 \text{ Gg a}^{-1}$; 2020 „mehr Stroh“: $1,3 \text{ Gg a}^{-1}$) und $\text{PM}_{2,5}$ (2020, Referenz: $0,78 \text{ Gg a}^{-1}$; 2020 „mehr Stroh“: $0,85 \text{ Gg a}^{-1}$). Die Emissionen der Treibhausgase nehmen dagegen ab.

Mastschweine

Strohgebundene Verfahren in der Mastschweinehaltung führen dann zu verringerten NH_3 -Emissionen, wenn viel Stroh eingesetzt wird. Im beschriebenen Fall – Zunahme der Zweiflächenställe mit Einstreu – ist eine Zunahme der NH_3 -Emissionen bei geringfügiger Abnahme der PM -Emissionen und deutlicher Abnahme der THG-Emissionen festzustellen. Aus Sicht der Verringerung der NH_3 -Emissionen ist eine Zunahme von strohgebundenen Haltungsverfahren dieser Art keine sinnvolle Maßnahme.

5.3.4 Umsetzbarkeit

Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen ist die Umsetzbarkeit dieser Maßnahme nur eingeschränkt gegeben. Im ökologischen Landbau ist die Verwendung strohbasierter Haltungsverfahren durch die Richtlinien der Verbände vorgeschrieben. Eine Erhöhung der Tierhaltung im ökologischen Landbau würde somit auch einer Erhöhung von strohbasierten Haltungsverfahren zur Folge haben. Derzeit ist nicht abzuschätzen, wie sich dieser Anteil zukünftig erhöhen wird (vgl. Kap. 9).

5.3.5 Kosten

Die Kosten für diese Maßnahme sind derzeit nur schwer kalkulierbar, da die Umstellung auf strohbasierte Haltungsverfahren bei bestehenden Verfahren erhebliche Umbauten erfordert.

Bei Neubauten kann bei gleicher Tierplatzanzahl beispielsweise bei einem Außenklimastall mit Einstreu gegenüber einem wärmegeprägten Stall mit Zwangslüftung pro Tierplatz eine Mehrinvestition von 70 -120 Euro (KTBL 2008, Baukosten) angenommen werden.

5.4 Maßnahme: Einsatz von Abluftreinigungsanlagen in der Schweinehaltung

	L 009
Kurzbeschreibung Abluftreinigungsanlagen dienen der Verringerung der Geruchsbelästigung und der NH ₃ -Emissionen aus großen Tierhaltungsanlagen. Sie sind außerdem in der Lage, Stäube aus der Stallabluft zu entfernen.	
Minderungspotenzial: NH ₃ : größenordnungsmäßig 20 Gg a ⁻¹ sowie (unter den gleichen Bedingungen) PM ₁₀ : etwa 3 Gg a ⁻¹ ; PM _{2,5} : etwa 0,4 Gg a ⁻¹	
Umsetzung Regional überall dort umsetzbar, wo Genehmigungen zusätzlicher Ställe an Abluftreinigungsanlagen gebunden sind.	
Ansatz Auflagen in den Genehmigungsverfahren für Neubauten und Änderungen.	
Kosten Unter Berücksichtigung der Kostendegression bei größeren Anlagen jährliche Gesamtkosten in Höhe von mindestens 13 bis 17 Euro pro Tierplatz (ohne MWSt)	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Die Emissionen von Stäuben (PM _{2,5} und PM ₁₀) werden drastisch reduziert. Keine Beeinflussung der übrigen Emissionen. Geruchs-Emissionen werden reduziert. Der Energieverbrauch der Lüftungen steigt.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 5.4 und Kapitel 5.5.	

5.4.1 Wirkungsweise von Abluftreinigungsverfahren

In Deutschland sind Abluftreinigungsverfahren in der Schweinehaltung noch nicht Stand der Technik der emissionsarmen Tierhaltung (KTBL, 2006). Manche Verfahren weisen im praktischen Betrieb noch eine Reihe von Schwachpunkten auf. Gramatte und Häuser (2006) nennen mangelhafte Dimensionierung, fehlende Kenntnisse über die bei der Abluftreinigung ablaufenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse, mangelhafte Wartung und Pflege der Anlagen sowie nicht ausreichende behördliche Überwachung. Die Probleme sind erkannt (vgl. z.B. Melse und Ogink, 2005) und sind lösbar. DLG-eignungsgeprüfte Anlagen⁷ weisen die von

⁷ DLG: Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft

Grammatte und Hauser genannten Nachteile nicht auf. Es gibt derzeit sechs DLG- anerkannte Verfahren (einstufige Biofilter, einstufige Rieselbettreaktoren, zweistufige und dreistufige Anlagen, vgl. Hahne, 2006). Die von Hahne (2006a) genannten Wirkungsgrade von 70 bis 90 % können auch mit einstufigen Anlagen gewährleistet sein.

Haupthindernis für einen breiteren Einsatz sind vor allem die Kosten (KTBL 2006).

Eignungsgeprüfte und funktionssichere Verfahren (DLG, 2006) sind nur für die Schweinehaltung verfügbar. Sie dienen in erster Linie der Verringerung der Belastung der Luft mit Geruchsstoffen. Sie weisen aber gleichzeitig Minderungsraten von etwa 70 % für NH₃, 90 % für PM₁₀ und 70 % für PM_{2,5} auf (Hahne, 2006b). Diese Werte werden in GAS-EM verwendet. Die Verringerung der Geruchs-Emissionen hat sicher die Verringerung der NMVOC-Emissionen zur Voraussetzung. Dies kann allerdings in den Inventarberechnungen noch nicht abgebildet werden.

5.4.2 Die NH₃- und Treibhausgas-Emissionen von Mastschweine-Ställen ohne und mit Abluftreinigung im Vergleich

Die Verwendung von Abluftreinigungsanlagen in der Schweine-Haltung führt zu einer erheblichen Minderung der NH₃- und PM-Emissionen. Die Ergebnisse für gülle- und strohbasierte Systeme sind in Tabelle 5.3 einander gegenübergestellt.

Tabelle 5.3: Vergleich der Emissionen eines Mastschweine-Platzes in gülle- bzw. strohbasier-ten Systemen (Angaben in kg Platz⁻¹ a⁻¹, Treibhausgas- (THG-) Emissionen in kg CO₂-Äqui-valenten; zu weiteren Einzelheiten siehe Legende zu Tabelle 5.2) ohne Berücksichtigung der Verdauung

<i>güllebasiertes System ohne Abluftreinigung</i>	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	THG	PM ₁₀	PM _{2,5}
Stall	3,93	0,00	0,00	0,00	0,00		0,50	0,08
Lager	1,51	0,00	0,00	0,00	1,02			
Ausbringung	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00			
Summe	6,21	0,00	0,00	0,00	6,38	160	0,50	0,08
<i>güllebasiertes System mit Abluftreinigung</i>	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	THG	PM ₁₀	PM _{2,5}
Stall	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00		0,05	0,02
Lager	1,51	0,00	0,00	0,00	1,02			
Ausbringung	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00			
Summe	3,46	0,00	0,00	0,00	6,38	160	0,05	0,02

strohbasierendes System ohne Abluftreinigung	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	THG	PM ₁₀	PM _{2,5}
Stall	5,03	0,00	0,00	0,00	0,00		0,42	0,07
Lager	2,02	0,10	0,01	0,19	1,02			
Ausbringung	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00			
Summe	7,66	0,10	0,01	0,19	1,02	55	0,42	0,07

strohbasierendes System mit Abluftreinigung	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	THG	PM ₁₀	PM _{2,5}
Stall	1,51	0,00	0,00	0,00	0,00		0,04	0,02
Lager	2,02	0,10	0,01	0,19	1,02			
Ausbringung	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00			
Summe	4,14	0,10	0,01	0,19	1,02	55	0,04	0,02

5.4.3 Emissionsminderung in Deutschland in der Schweine-Haltung bei regionalem Einsatz von Abluftreinigungsanlagen

Der regionale Einsatz von Abluftreinigungsanlagen in Mastschweineställen kann zu erheblichen Verminderungen der NH₃- und PM-Emissionen führen. Bei den berechneten Szenarien (vgl. Tabelle 5.4) wurden Abluftreinigungsanlagen in den Landkreisen eingeführt, bei denen die Anzahl der Mastschweineplätze einen bestimmten Wert (100000, 70000 bzw. 50000) übersteigt. Es wurden jeweils 50 % und 75 % der Mastschweineplätze mit Abluftreinigungsanlagen ausgerüstet.

In dem Maximalszenario (75 % Abluftreinigungsanlagen in Landkreisen mit mehr als 50000 Mastschweineplätzen) werden die NH₃-Emissionen aus dem Stall auf 62 % des Ist-Zustands gesenkt. Im Minimalszenario (50 % Abluftreinigungsanlagen in Landkreisen mit mehr als 100000 Mastschweineplätzen) beträgt dieser Wert 80 %. Die PM₁₀-Emissionen können auf 50 – 75 % und die PM_{2,5}-Emissionen auf 61 – 70 % des Ist-Zustands gesenkt werden.

Tabelle 5.4: Vergleich der Emissionen aus Ställen durch Mastschweine in Deutschland: Ist-Zustand 2003 und regional nach der Menge an Mastschweinplätzen differenzierter Einsatz von Abluftreinigungsanlagen (ARA) (Angaben in Gg a⁻¹)

	NH ₃	PM ₁₀	PM _{2,5}
Ist-Zustand 2003	69,46	8,25	1,34
50 % ARA in 31 Kreisen mit > 100000 Plätzen	55,71	6,14	1,07
75 % ARA in 31 Kreisen mit > 100000 Plätzen	48,83	5,08	0,94
50 % ARA in 46 Kreisen mit > 70000 Plätzen	53,86	5,86	1,04
75 % ARA in 46 Kreisen mit > 70000 Plätzen	46,06	4,66	0,89
50 % ARA in 71 Kreisen mit > 50000 Plätzen	51,67	5,52	0,99
75 % ARA in 71 Kreisen mit > 50000 Plätzen	42,78	4,16	0,82

5.4.4 Nebenwirkungen

Der Einsatz von Abluftreinigungsanlagen hat kaum Änderungen bei den Emissionen anderer Spurengase zur Folge. Die PM-Emissionen werden bei dieser Maßnahme erheblich reduziert. Nach DLG (2006) ist bei ordnungsgemäß ausgelegten und betriebenen Anlagen kein Rohgas-(Stall-)Geruch in der Reinluft wahrnehmbar bzw. die Reingaskonzentration beträgt kleiner 300 GE m^{-3} (GE: Geruchseinheiten). Die Minderung der Geruchsbelästigung wird bei Melse und Ogink (2005) mit größenordnungsmäßig 30 % angegeben. Hahne (2006c) dagegen gibt Minderungen der Geruchsbelästigung in der Größenordnung von 70 bis 90 % an.

Allerdings ist aufgrund der Strömungswiderstände in den Anlagen gegenüber der konventionellen Lüftung mit einem erhöhten Energiebedarf bzw. hieraus resultierenden CO_2 -Emissionen zu rechnen. Grimm (2006) gibt einen Mehrbedarf von etwa 100 % an. Hersteller geben dagegen einen Mehrverbrauch von größenordnungsmäßig 30 % an (Mitteilung Big Dutchman Pig Equipment, Vechta; vom 18.3.2008).

Hinzu kommt der Energiebedarf zum Betrieb der Pumpen für Lösungen.

5.4.5 Umsetzbarkeit

Der Einsatz von Abluftreinigungsanlagen ist im Moment nur regional, d.h. in Gebieten mit hohen Tierzahldichten, wirksam.

5.4.5 Kosten

Für die Errichtung und den Betrieb zertifizierter Abluftreinigungsanlagen kann nahezu unabhängig vom Verfahren und unter Berücksichtigung der Kostendegression bei größeren Anlagen von jährlichen Gesamtkosten in Höhe von mindestens 13 bis 17 € pro Tierplatz (ohne Mehrwertsteuer) in der Schweinemast als Planungswert ausgegangen werden (Grimm et al., 2007).

Die Betriebskosten haben im Durchschnitt einen Anteil von etwa 60 % an den Gesamtkosten. Etwa 50 % der Betriebskosten machen die Stromkosten aus (Betrieb von Pumpen, Mehrverbrauch der Lüftungsanlage des Stalles).

5.5 Literatur

DLG (2006): Prüfrahen: Abluftreinigungssysteme für Tierhaltungsanlagen. DLG Testzentrum, Technik & Betriebsmittel Groß-Umstadt

Gramatte, W., Häuser, S. (2006): DLG-SignumTest von Abluftreinigungsanlagen für Tierhaltungsanlagen. In: KTBL (Hrsg.) Emissionen der Tierhaltung. KTBL-Schrift 449. KTBL, Darmstadt. S. 315-318.

Grimm (2006): Kosten. In: KTBL (Hrsg.): Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen – Verfahren, Leistungen, Kosten. KTBL-Schrift 451, Darmstadt, S: 57-67.

Grimm, E, Arends, F., Brehme, G., Büscher, W., Clemens, J., Eichler, F., Franke, G., Gramatte, W., Häuser, S., Hahne, J., Hartung, E., Mußlick, M., Seedorf, J., Van den Weghe, H. (2007): Kosten der Abluftreinigung bei Tierhaltungsanlagen. In: 8. Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2007 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 8.-10. Oktober 2007 in Bonn, Tagungsband, KTBL, 2007, Darmstadt, S. 39-44

Hahne, J. (2006a): Stand der Verfahrenstechnik der Abluftreinigung in der Praxis. In: KTBL (Hrsg.) Emissionen der Tierhaltung. KTBL-Schrift 449. KTBL, Darmstadt. S. 241-251.

Hahne, J. (2006b): Sind Abluftwäscher zur Minderung von Staubemissionen geeignet? Landtechnik 2/2006, 88-89.

Hahne, J. (2006c): Welche Verfahren gibt es? In: KTBL (Hrsg.) Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen Tierhaltungsanlagen – Verfahren, Leistungen, Kosten. KTBL-Schrift 451. KTBL, Darmstadt. S. 12-45.

Melse, R.W., Ogink, N.W.M. (2005): Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: review of on-farm research in the Netherlands. Transactions ASAE 48, 2303-2313.

Reidy, B, Webb, J., Monteny, G.-J., Misselbrook, T.H., Menzi, H., Luesink, H.H., Hutchings, N.J., Eurich-Menden, B., Döhler, H., Dämmgen, U. (2009):, Comparison of models used for national agricultural ammonia emission inventories in Europe: litter-based manure systems. Atmospheric Environment, eingereicht

6 Maßnahmen bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern

6.1 Maßnahme: Abdeckung der Wirtschaftsdünger-Lager

	L 010
Kurzbeschreibung Eine Abdeckung der Wirtschaftsdüngerlager hat dort verringerte NH_3 -Emissionen zur Folge. Die Abdeckung kann dann zum Einsatz kommen, wenn sich keine natürliche Schwimmdecke bildet (i.d. R. bei Schweinegülle). Es stehen verschiedene Abdeckungsmaterialien zur Verfügung (Strohhäcksel, Granulate, Schwimmkörper, Folie, feste Abdeckungen wie Zeltdach und Betondecke).	
Minderungspotenzial: Bei Rindern praktisch keine Minderung, da natürliche Schwimmdecken vorhanden sind. Bei Schweinen ist die Zahl der noch nicht abgedeckten Lager gering. Denkbar sind 5 Gg a^{-1} .	
Umsetzung Die hohe Lebensdauer der Altanlagen erschwert die Umstellung auf emissionsarme Lager.	
Ansatz In Genehmigungsverfahren für Schweinehaltungen grundsätzlich Abdeckung mindestens mit Folie zur Auflage machen.	
Kosten Gesamtkosten nicht schätzbar, da derzeit nicht bekannt ist, welche Güllemengen bereits abgedeckt sind.	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Trotz Minderung der N_2O -Emissionen führt die vermehrte CH_4 -Emission insgesamt zu einer Erhöhung der THG-Emissionen.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 6.1 und Kapitel 6.3.	

6.1.1 Zweck der Abdeckung

Ammoniak-Emissionen aus dem Lager lassen sich durch Verringerung des Luftaustauschs an der Oberfläche des Lagers verringern. Wirksame Maßnahmen sind Abdeckungen durch schwimmende Strömungsbarrieren in Form einer natürlichen oder künstlichen Schwimmdecke (Strohhäcksel, Granulat, Schwimmkörper) sowie eine Abdeckung durch bauliche Maßnahmen (feste Betondecke, Zelt, Folie).

In der Geflügel-Haltung ist es üblich, die Ausscheidungen bis zum Ende eines Produktionsdurchgangs im Stall zu belassen und sie anschließend ohne weitere Lage-

rung auszubringen. Maßnahmen zur Minderung der Emissionen aus dem Lager werden daher an dieser Stelle nicht diskutiert.

In der Rinder-Haltung bilden sich im Güllebehälter natürliche Schwimmdecken, solange man sie nicht absichtlich verhindert. In der Schweine-Haltung ist dies die Ausnahme.

In Festmistsystemen beschreibt GAS-EM lediglich die Lagerung im Misthaufen ohne weitere Differenzierungen. Minderungen können hier nicht berechnet werden.

Untersucht werden sollen daher vor allem Auswirkung der Errichtung fester Decken und das Aufbringen von Folien auf die Freisetzung von Ammoniak und Treibhausgasen.

6.1.2 Einfluss von festen Abdeckungen, Folien und Strohhäcksel auf die Emissionen bei der Lagerung von Schweinegülle

Wie aus Tabelle 5.1 hervorgeht, ist der Einfluss einer Abdeckung auf die NH₃-Emissionen deutlich erkennbar. Die Unterschiede zwischen den hier behandelten Formen sind gering. Ebenso sind die Unterschiede zwischen den N-Einträgen in die Böden für die abgedeckten Varianten gering. Bei den Emissionen der Treibhausgase schlägt IPCC (2006) nur für die feste Abdeckung einen verringerten Emissionsfaktor vor.

Bei der Abdeckung mit Strohhäcksel bleibt der N-Eintrag mit dem Strohhäcksel unberücksichtigt.

Tabelle 6.1: Vergleich der Emissionen eines Mastschweine-Platzes in güllebasierten Systemen ohne und mit Abdeckung des Lagers (Angaben in kg Platz⁻¹ a⁻¹, Treibhausgas- (THG-) Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten; zu weiteren Einzelheiten siehe Legende zu Tabelle 5.2) ohne Berücksichtigung der Verdauung

<i>güllebasiertes System ohne Abluftreinigung, offener Lagerbehälter</i>	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	THG	N-Eintrag in den Boden
Stall	3,93	0,00	0,00	0,00	0,00		
Lagerung	1,51	0,00	0,00	0,00	6,38		
Ausbringung	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00		
Summe	6,21	0,00	0,00	0,00	6,38	160	10,67
<i>güllebasiertes System ohne Abluftreinigung, Abdeckung mit Strohhäcksel</i>	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	THG	N-Eintrag in den Boden
Stall	3,93	0,00	0,00	0,00	0,00		
Lagerung	0,30	0,00	0,00	0,00	6,38		
Ausbringung	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00		
Summe	5,11	0,00	0,00	0,00	6,38	160	11,57

güllebasiertes System ohne Abluftreinigung, Abdeckung mit Folie	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	THG	N-Eintrag in den Boden
Stall	3,93	0,00	0,00	0,00	0,00		
Lagerung	0,23	0,00	0,00	0,00	6,38		
Ausbringung	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00		
Summe	5,04	0,00	0,00	0,00	6,38	160	11,63

güllebasiertes System ohne Abluftreinigung, feste Abdeckung	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	THG	N-Eintrag in den Boden
Stall	3,93	0,00	0,00	0,00	0,00		
Lagerung	0,15	0,00	0,00	0,00	3,75		
Ausbringung	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00		
Summe	4,97	0,00	0,00	0,00	3,75	94	11,68

6.1.3 Emissionsminderung in Deutschland in der Rinder- und Schweinehaltung bei flächendeckendem Einsatz von Abdeckungen

Der flächendeckende Einsatz von Folienabdeckungen in der Schweinehaltung führt in Deutschland nahezu zu einer Halbierung der NH₃-Emissionen aus dem Lager. In der Summe der Verluste aus Stall, Lager und Ausbringung bedeutet dies eine geringe Reduzierung auf 95 % des Ist-Zustands (vgl. Tabelle 6.2). Gleichzeitig sinken die N₂O, NO und N₂-Emissionen während die CH₄-Emissionen um 5 % steigen. Der N-Eintrag in den Boden steigt in dem Maße an, wie die NH₃-Emissionen absinken.

Tabelle 6.2: Vergleich der Emissionen durch Mastschweine in Deutschland: Ist-Zustand 2003 und Abdeckung sämtlicher Lager mit Folie, soweit sie nicht schon eine feste Abdeckung haben (Angaben in Gg a⁻¹, Treibhausgas- (THG-) Emissionen in kg a⁻¹ CO₂-Äquivalenten) ohne Berücksichtigung der Verdauung

	NH ₃	N ₂ O	NO	N ₂	CH ₄	THG	N-Eintrag in den Boden
Ist-Zustand 2003							
Stall	69,46						
Lagerung	12,76	0,82			90,60		
Ausbringung	25,09						
Summe	107,31	0,82	0,11	1,56	90,60	2508	182,82
Abdeckung der Lager mit Folie							
Stall	69,46						
Lagerung	6,85	0,60			95,14		
Ausbringung	26,21						
Summe	102,52	0,60	0,08	1,15	95,14	2559	187,32

6.1.4 Nebenwirkungen

Die Minderung der N₂O-Emissionen wird durch das Ansteigen der CH₄-Emissionen aus dem Lager überkompensiert, so dass insgesamt mehr Treibhausgase emittiert werden. Durch die Erhöhung des N-Eintrags in den Boden um 4,5 Gg a⁻¹ erhöhen sich die indirekten N₂O-Emissionen aus Auswaschung um 0,01 Gg a⁻¹.

6.1.5 Umsetzbarkeit

Bei Neubauten sollte eine Abdeckung eingeplant werden. Hierbei ist mindestens von einer Strohhäcksel-Abdeckung auszugehen.

6.1.6 Kosten

Die Kosten schwanken in Abhängigkeit von der gewählten Abdeckung (Strohhäcksel, Folie oder Betondecke) und der abzudeckenden Menge zwischen 0,2 und 0,6 Euro pro m³ Gülle und Jahr (Döhler et al., 2002).

6.2 Maßnahme: Veränderung der Ausbringtechnik und Verringerung der Zeit bis zur Einarbeitung

	L 011
Kurzbeschreibung Das Vermeiden von großen und längerfristig emittierenden Oberflächen ist das Prinzip der emissionsarmen Ausbringung. Durch Techniken, die Gülle bodennah mit geringen Oberflächen oder in den Boden ausbringen (Schleppschlauch, Schleppschuh oder Güllegrubber) sowie durch die direkte Einarbeitung der Wirtschaftsdünger nach Ausbringung werden Emissionen deutlich gemindert.	
Minderungspotenzial: In Abhängigkeit der eingesetzten Technik, Gülleart und Kultur (Acker oder Grünland) können 30 bis 60 % der Emissionen reduziert werden, die direkte Einarbeitung kann im Prinzip eine Emissionsreduktion von bis zu 90 % erzielen.	
Umsetzung Umsetzung erfolgt derzeit sehr schleppend, da emissionsärmere Ausbringungstechniken neben höherem technischem Aufwand oft mehr Arbeitszeit erfordern.	
Ansatz Verbot der Herstellung und Anwendung von Ausbringungstechniken mit hohen Emissionsfaktoren; Information der Entscheidungsträger über die Bedeutung vermeidbarer N-Verluste	
Kosten Gesamtkosten sind nicht schätzbar, da nicht hinreichend bekannt ist, welche Mengen mit welcher Technik ausgebracht werden.	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Geringfügig verringerte Treibhausgas-Emissionen werden modelliert.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 6.2 und Kapitel 6.3.	

6.2.1 Einfluss von Ausbringungstechnik und Einarbeitung

Wie im Stall und im Lager beruhen die emissionsmindernden Maßnahmen im Wesentlichen darauf, die emittierenden Oberflächen gering zu halten. Zusätzlich lässt sich bei der Ausbringung die Dauer des Ausgasungsvorgangs durch Einarbeiten der Wirtschaftsdünger beeinflussen. Die Art der Einarbeitung kann auch Einfluss auf die emittierende Restfläche haben. Die in GAS-EM berücksichtigten Kombinationen von Ausbringungstechniken und Einarbeitungszeiten sind in Tabelle 6.3 zusammengestellt.

Tabelle 6.3: Der Einfluss von Ausbringungstechnik und Einarbeitungszeit auf die Ammoniak-Emissionen. Beispiel-Tabellen Angaben bezogen auf verfügbares TAN oder Gesamt-Stickstoff (N_{ges}). (Quelle: EMEP, 2002)

Beispiel 1: Rindergülle

Referenz-EF	Technik	ausgebracht auf	Einarbeitung nach h	Reduktion gegenüber Referenz %
Referenz: 0,50 kg kg ⁻¹ TAN	Breitverteiler	Acker, brach	ohne	Referenz
			1	80
			4	48
			6	30
			12	13
			24	8
			48	0
	Schleppschlauch	kurze Vegetation	-	-25
		Acker, brach	ohne	10
			1	92
			4	70
			6	60
			12	40
			24	22
			48	8
		kurze Vegetation	-25	-25
		Vegetation > 0,3 m		30
Referenz: 0,60 kg kg ⁻¹ TAN	Breitverteiler	Grünland		Referenz
	Schleppschlauch	kurze Vegetation		10
		Vegetation > 0,3 m		30
	Schleppschuh			40
	Schlitz (offen)			60

TAN (total ammoniacal nitrogen): Zum Zeitpunkt der Ausbringung als NH_4 vorhandener N

Beispiel 2: Rinderjauche

Referenz-EF	Technik	ausgebracht auf	Einarbeitung nach h	Reduktion gegenüber Referenz %
Referenz: 0,20 kg kg ⁻¹ TAN	Breitverteiler	Acker, brach	ohne	Referenz
			1	90
			4	65
			24	10
	Schleppschlauch	Acker, brach	ohne	10

Beispiel 3: Rinderfestmist

Referenz-EF	Technik	ausgebracht auf	Einarbeitung nach h	Reduktion gegenüber Referenz %
Referenz: 0,90 kg kg ⁻¹ TAN	Breitverteiler	Acker, Grünland	ohne	Referenz
			1	90
			4	50
			24	0

6.2.2 Einfluss des Einsatzes von emissionsmindernder Technik und rascher Einarbeitung auf die Emissionen bei der Ausbringung von Rinder- und Schweinegülle

Die Verwendung emissionsmindernder Maßnahmen ist gute fachliche Praxis. Nach den Vorgaben der Düngeverordnung sind flüssige Wirtschaftsdünger unverzüglich einzuarbeiten. Mit der Kombination von Flüssigmistausbringung und unmittelbar anschließender Bodenbearbeitung sind auf unbewachsenem Ackerland Emissionsminderungen von bis zu 90 % erzielbar. Diese Minderungseffekte sind jedoch nur erreichbar, wenn die Gülle innerhalb etwa 1 Stunde nach der Ausbringung eingearbeitet wird. Je später die Einarbeitung erfolgt, umso geringer ist die Emissionsminderung. Die unmittelbare Einarbeitung kann entweder mit einem 2. Fahrzeug erfolgen oder Ausbringung und Einarbeitung erfolgen in einem kombinierten Arbeitsgang. Je nach Wirtschaftsdünger werden verschiedene Minderungstechniken eingesetzt

Die Prognosen für 2010 und 2020 nehmen an, dass die Ausbringung von Gülle mit Schleppschläuchen anstelle der Breitverteilung weiter zunimmt. In Tabelle 6.4 sind die Emissionen einer Prognose zusammengestellt, in der auf Breitverteilung von Gülle völlig verzichtet wird. Alle Einarbeitungszeiten liegen unter 4 h. Eine zusätzliche Emissionsminderung von etwa $20 \text{ Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$ kann erreicht werden.

Tabelle 6.4: Emissionsprognosen für Ammoniak bei Einsatz emissionsbringender Ausbringungstechniken im Jahr 2020

Angaben in Gg a^{-1} .

Die Emissionen aus der Tierhaltung umfassen Emissionen aus der Weidehaltung, dem Stall, planbefestigten Flächen (einschl. Melkstall), Wirtschaftsdüngerlager und -ausbringung.

(Die Zahl der angegebenen Stellen hat keine Aussagekraft für die Unsicherheit der Schätzung.)

	2020 ohne Maßnahmen	2020 mit Maßnahmen
Milchkühe	148,91	138,04
Färsen	56,31	53,30
Mastbullen	21,13	19,63
Sauen	23,51	22,30
Aufzuchtferkel	4,47	4,23
Mastschweine	99,96	94,05
Summe Rinder und Schweine	354	332

6.2.4 Nebenwirkungen

Die Mehreinträge an N in den Boden und die verminderten NH_3 -Emissionen haben gegensätzliche Einflüsse auf die Lachgas-Emissionen. Insgesamt ergibt sich für die hier betrachteten Tierkategorien jedoch eine geringfügige Abnahme (ohne Maßnahmen: $9,24 \text{ Tg a}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$; mit Maßnahmen $9,17 \text{ Tg a}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$).

6.2.5 Umsetzbarkeit

Im Detail ist die Umsetzbarkeit in Abhängigkeit von Frucht, Ausbringungstermin und Flächenbeschaffenheit (Hanglage, Bodenart, Steingehalt ...) zu ermitteln (vgl. Tabelle 6.5). Dies ist derzeit nicht möglich.

Tabelle 6.5: Techniken zur Minderung der Ammoniakverluste nach der Ausbringung von flüssigen Wirtschaftsdüngern (Gülle)

Minderungstechniken/-maßnahmen	Einsatzgebiete	Tierart	Emissionsminderung (%) ¹⁾	Beschränkungen
Schleppschlauch	Ackerland unbewachsen	Rind	8	Hangneigung nicht zu stark, Größe und Form des Grundstückes, dickflüssige Gülle, Abstand Fahrgassen, Bestandeshöhe
		Schwein	30	
	mit Bewuchs (>30 cm)	Rind	30	
		Schwein	50	
	Grünland niedriger Bewuchs (bis 10 cm)	Rind	10	
		Schwein	30	
Schleppschuh	höherer Bewuchs (> 30 cm)	Rind	30	wie oben, nicht auf sehr steinigen Böden
		Schwein	50	
	Ackerland	Rind	30	
		Schwein	60	
	Grünland	Rind	40	
		Schwein	60	
Gülleschlitz	Grünland	Rind	60	wie oben, nicht auf steinigen, zu trockenen und verdichteten Böden, hoher Zugkraftbedarf
		Schwein	80	
Güllegrubber	Ackerland	Rind	> 80	Wie oben, nicht auf sehr steinigen Böden, sehr hoher Zugkraftbedarf, nur bedingt auf bewachsenem Ackerland (ggf. Reienkulturen) einsetzbar
		Schwein	> 80	
direkte Einarbeitung (innerhalb 1 Stunde)	Ackerland	Rind	90	Mit leichtem Gerät (Egge) nach Primärbodenbearbeitung, mit Grubber/Pflug nach Ernte
		Schwein	90	
Verdünnung	Grünland	Rind	30 - 50	Nur auf Grünland, erhöhter Energiebedarf

¹⁾ Für die Jauche-Ausbringung kommen die gleichen Techniken in Frage wie für die Flüssigmistausbringung. Aufgrund des deutlich geringeren Emissionsniveaus von Jauche (nur ca. 10 - 20 % des Ammonium-N), sind die Minderungseffekte beim Einsatz verschiedener Techniken daher nicht so stark ausgeprägt. Die durch die Minderungstechniken maximalen erzielbaren Emissionsprozente beziehen sich auf eine Ausbringung der Wirtschaftsdünger mit dem System Breitverteiler (Referenz). Daten wurden in zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen ermittelt. (Quelle: Döhler et al., 2002a, ergänzt)

6.2.6 Kosten

Die Mehrkosten für die Ausbringung von flüssigen Wirtschaftsdüngern betragen je nach eingesetzter Technik und auszubringender Menge zwischen 0,7 und 10,3 Euro pro m³ gegenüber der Ausbringung mit einem Breitverteiler. Die Einarbeitung der Gülle innerhalb von 1 - 4 h wird mit rund 0,8 Euro Mehrkosten pro m³ gerechnet (vgl. Tabelle 6.6).

Tabelle 6.6: Kosten der eigenmechanisierten Gülleausbringung (nach Döhler et al., 2002)

Jahresmenge	500 m ³	Mehrkosten gegenüber Breitverteiler	1000 m ³	Mehrkosten gegenüber Breitverteiler	3000 m ³	Mehrkosten gegenüber Breitverteiler
Verteiltechnik	€ m ⁻³	€ m ⁻³	€ m ⁻³	€ m ⁻³	€ m ⁻³	€ m ⁻³
Breitverteiler (Referenz)	5,2	-	3,8	-	2,2	-
Mit Einarbeitung (innerhalb 1-4 h)	5,9	0,8	4,6	0,8	3,0	0,7
Schleppschlauch	6,9	1,7	5,5	1,6	3,0	0,7
Schleppschuh	9,3	4,1	7,5	3,6	3,8	1,6
Schlitzverteiler	10,9	5,8	8,9	5,1	4,5	2,2
Güllegrubber	10,3	5,1	8,6	4,8	4,8	2,6

Für Festmist werden für die direkte Einarbeitung ebenfalls zwischen 0,7 und 0,9 Euro Mehrkosten pro m³ Festmist gegenüber einer Breitverteilung angenommen.

6.3 Literatur

Döhler, H.; Dämmgen, U.; Eurich-Menden, B.; Osterburg, B.; Lüttich, M.; Berg, W.; Bergschmidt, A.; Brunsch, R. (2002): Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien sowie Erfassung und Prognose der Ammoniak-Emissionen der deutschen Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahre 2010. Abschlussbericht im Auftrag von BMVEL und UBA. UBA-Texte Heft 05/02

7 Maßnahmen bei der Verwendung von Mineraldüngern

7.1 Maßnahme: Anpassung der Düngermengen an den Düngerbedarf

		L 012
Kurzbeschreibung Eine Verringerung der Einsätze von Mineraldüngern hat eine durchgängige Verringerung von NH ₃ - und Treibhausgas-Emissionen zur Folge. Der Vermeidung von Überschüssen sollte daher eine besondere Bedeutung zukommen.		
Minderungspotenzial: Die theoretischen Minderungspotenziale sind erheblich. Ihre Ausschöpfung ist in vielen Fällen dennoch unwirtschaftlich. Maximal technisch machbare Reduktionen werden in Kombination mit veränderter Düngerart in Kap. 7.3 diskutiert.		
Umsetzung Die Umsetzung ist wahrscheinlich mit einer Verringerung der Tierzahldichte verbunden.		
Ansatz Durchsetzung der Beschränkung der Düngung auf die Düngeempfehlung und der guten fachlichen Praxis.		
Kosten nicht schätzbar		
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Die Minderungsmaßnahme ist mit einer proportionalen Minderung der Emission aller anderen Stickstoff-Spezies verbunden.		
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 7.1 und Kapitel 7.3.		

Eine wesentliche emissionsmindernde Maßnahme ist die Vermeidung von Überschüssen (vgl. z.B. auch Johnson et al., 2007). Die folgende überschlägige Berechnung der benötigten und der aufgewendeten Mengen von Stickstoff-Düngern ergab zum Teil erhebliche Differenzen.

7.1.1 Berechnung des N-Dünger-Bedarfs

Die Emissionsfaktoren für Mineraldünger sehen unterschiedliche Emissionsfaktoren für die Anwendungen auf Grünland und Ackerland vor (siehe Kapitel 7.2). Aus diesem Grunde wurde bei der Berechnung der NH₃-Emissionen eine plausible Auftei-

lung der Düngemittel-Mengen erforderlich. Grundlage der Aufteilung war die Schätzung des N-Bedarfs aus bewirtschafteten Flächen und Düngempfehlungen.

Die bewirtschafteten Flächen wurden der Agrarstatistik der Statistischen Landesämter für 2003 entnommen (StatLA, 2003).

Das Modell GAS-EM berechnet kreisweise die N-Einträge in die Böden aus der Anwendung von Wirtschaftsdüngern. Die Importe von N mit Geflügelkot aus den Niederlanden können keinem Bundesland zugeordnet werden; sie sind in Tabelle 7.2 unter „alle“ aufgeführt.

Tabelle 7.1: Derzeit in GAS-EM verwendete Düngempfehlungen für Stickstoff-Dünger ⁸

Frucht	Düngempfehlung kg ha ⁻¹ N	Quelle
Winterweizen	220	LWK-WE (2003)
Sommerweizen	200	LWK-WE (2003)
Roggen	150	LWK-WE (2003)
Wintergerste	190	LWK-WE (2003)
Sommergerste	130	LWK-WE (2003)
Hafer	100	LWK-WE (2003)
Triticale	190	LWK-WE (2003)
Körnermais	180	LWK-WE (2003)
Silomais	180	LWK-WE (2003)
Raps	200	LWK-WE (2003)
Zuckerrübe	160	LWK-WE (2003)
Futterrübe	160	
Klee, Klee-Gras-Mischungen, Klee-Luzerne-Mischungen (Feldfutterbau)	0	
Luzerne	0	
Gras (Feldfutterbau)	270	KTBL (2004), S. 301
Kartoffeln	160	LWK-WE (2003)
Ackerbohnen	0	
Futtererbsen	0	
andere Hülsenfrüchte	0	
Wiesen und Weiden	130	KTBL (2004), S. 301

7.1.2 Bedarf, Aufwand und Emissionen

Aus Bedarf und den ausgebrachten Mengen wird der Überschuss berechnet (Tabelle 7.2). In den Bundesländern Hessen, Rheinlandpfalz mit Saarland, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen ist der Stickstoff-Überschuss nicht vorhanden oder gering, in Bayern und Baden-Württemberg ist er merklich, in den Ländern Schleswig-Holstein mit Hamburg und Niedersachsen mit Bremen ist er erheblich. Aus dem für das jeweilige Land berechneten mittleren Emissionsfaktor für NH₃ aus Mineraldüngern lässt sich die Emissionsminderung berechnen, die sich un-

⁸ Nach § 4 der gültigen Düngeverordnung darf mit Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft nur soviel Stickstoff ausgebracht werden, dass im Durchschnitt der landwirtschaftlich genutzten Flächen des Betriebes 170 kg ha⁻¹ a⁻¹ nicht überschritten werden. Nach gesonderter Antragstellung beim Amt für Landwirtschaft und Forsten ist es möglich, auf intensiv genutztes Grünland, Wechselgrünland und Feldgras unter Einhaltung von weiteren Auflagen Stickstoff bis zu 230 kg/ha auszubringen.

ter Fortfall der Überschüsse ergäbe. Tabelle 7.2. lässt erkennen, dass diese Minderung etwa 30 % der für 2003 berechneten Emissionen aus Mineraldüngern ausmacht.

Tabelle 7.2: Düngerschätzung, Düngeraufwand und Ammoniak-Emissionsminderung (eigene Berechnungen)

	N_{gesch} Gg a ⁻¹ N	N_{min} Gg a ⁻¹ N	N_{WD} Gg a ⁻¹ N	$N_{\text{über}}$ Gg a ⁻¹ N	E_{min} Gg a ⁻¹ NH ₃	EF_{NH_3} kg kg ⁻¹	ΔE_{min} Gg a ⁻¹ NH ₃
Schleswig-Holstein und Hamburg	133	201	66	134	12,6	0,063	8,4
Niedersachsen und Bremen	347	324	222	199	17,3	0,053	10,7
Nordrhein-Westfalen	209	189	144	124	8,0	0,043	5,3
Hessen	108	67	33	-8	3,5	0,053	-0,4
Rheinland-Pfalz und Saarland	92	56	33	-2	1,4	0,025	-0,1
Baden-Württemberg	121	71	89	38	3,3	0,047	1,8
Bayern	425	273	228	76	6,1	0,022	1,7
Brandenburg und Berlin	165	76	48	-41	4,3	0,056	-2,3
Mecklenburg-Vorpommern	207	171	43	7	13,3	0,078	0,6
Sachsen	132	96	44	9	3,6	0,038	0,3
Sachsen-Anhalt	173	137	36	0	7,9	0,058	0,0
Thüringen	115	77	36	-2	3,6	0,047	-0,1
Alle			17			0,049	0,8
Summen	2296	1791	1040	535	85		26

N_{gesch} : aus Anbauflächen und Düngeempfehlung geschätzter N-Düngerbedarf für das Jahr 2003

N_{min} : im Bundesland in 2003 abgesetzter N-Dünger

N_{WD} : im Bundesland in 2003 angefallener Wirtschaftsdünger-N

$N_{\text{über}}$: für das Bundesland in 2003 errechneter N-Überschuss

E_{min} : für das Bundesland für 2003 berechnete NH₃-Emission aus der Anwendung von Mineraldünger

EF_{NH_3} : für das Bundesland berechneter mittlerer Emissionsfaktor für NH₃ aus der Anwendung von Mineraldünger

ΔE_{min} : für das Bundesland errechnete Emissionsminderung bei Vermeidung von N-Überschüssen

7.1.3 Nebenwirkungen

Die Maßnahme wirkt sich ebenso auf die direkten und die indirekten N₂O-Emissionen, auf die direkten NO-Emissionen sowie auf die CO₂-Emissionen aus. Tabelle 7.3 wurde unter der Annahme berechnet, dass von der Minderung Grün- und Ackerland gleicher Weise betroffen ist und dass die unterschiedlichen Düngerarten in proportional gemindert wurden. Die Emissionen der Treibhausgase insgesamt werden ebenfalls verringert.

Tabelle 7.3: Spurengas-Emissionen aus Mineraldünger-Anwendung bei derzeitiger Düngep Praxis und bei angepasster Düngung (eigene Berechnungen)

	Einheit	derzeitige Praxis	angepasst
E_{NH_3}	Gg a ⁻¹	83,8	58,9
$E_{\text{N}_2\text{O, direkt}}$	Gg a ⁻¹	25,3	18,8
E_{NO}	Gg a ⁻¹	25,4	18,8
$E_{\text{CO}_2, \text{Harnstoff}}$	Gg a ⁻¹	1081	757
$E_{\text{CO}_2, \text{KAS}}$	Gg a ⁻¹	2070	1449
$E_{\text{N}_2\text{O, indirekt}}$	Gg a ⁻¹	6,5	4,8
E_{THG}	Tg a ⁻¹	12,7	9,2

E_{NH_3}	NH ₃ -Emissionen
$E_{\text{N}_2\text{O, direkt}}$	direkte N ₂ O-Emissionen
E_{NO}	NO-Emissionen
$E_{\text{CO}_2, \text{Harnstoff}}$	CO ₂ -Emissionen aus der Hydrolyse von Harnstoff
$E_{\text{CO}_2, \text{KAS}}$	CO ₂ -Emissionen aus Kalkammonsalpeter
$E_{\text{N}_2\text{O, indirekt}}$	indirekte N ₂ O-Emissionen aus Deposition und Auswaschung bzw. Oberflächenabfluss
E_{THG}	CO ₂ -Äquivalent der Summe von N ₂ O- und CO ₂ -Emissionen

7.1.4 Umsetzbarkeit

Die Überschüsse tauchen vor allem in Bundesländern mit hohen Tierdichten auf. Eine Verwendung von Wirtschaftsdüngern als N-Dünger setzt auch die Verfügbarkeit geeigneter zu düngender Flächen in der Nähe des erzeugenden Betriebs voraus.

7.1.5 Kosten

Kosten sind derzeit nicht kalkulierbar.

7.2 Maßnahme: Verringerter Einsatz von Harnstoffdüngern

	L 013
Kurzbeschreibung <p>Harnstoff-Dünger weisen gegenüber anderen Mineraldüngern erheblich höhere NH_3-Emissionsfaktoren auf. Der Ersatz von Harnstoff durch N-Düngern mit deutlich niedrigeren Emissionsfaktoren führt zu verringerten NH_3-Emissionen.</p>	
Minderungspotenzial: <p>Die theoretischen Minderungspotenziale sind sehr groß. Die Anwendungspraxis und wirtschaftliche Gesichtspunkte führen dazu, dass dieses Potenzial nicht ausgeschöpft wird.</p> <p>Maximal technisch machbare Reduktionen werden in Kombination mit vermindertem Düngereinsatz in Kap. 7.3 diskutiert.</p>	
Umsetzung <p>Der Einsatz von Harnstoff wird durch den Preis und Vorteile bei der Ausbringung gefördert.</p>	
Ansatz <p>Einschränkung der Anwendung von Harnstoff auf besondere Kulturen bzw. in besonderen Regionen denkbar.</p>	
Kosten <p>nicht schätzbar</p>	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) <p>Die Minderungen der NH_3-Emissionen führen nicht zu veränderten Lachgas-Emissionen,</p>	
Datenquellen/Referenzen <p>siehe Text des Kapitels 7.2 und Kapitel 7.5.</p>	

7.2.1 Ammoniak-Emissionsfaktoren für Mineraldünger

Die Berechnung der NH_3 -Emissionen als Folge der Anwendung von Mineraldüngern bezieht die Emissionen auf die eingesetzten N-Mengen und verwendet dabei die in Tabelle 7.4 aufgeführten Emissionsfaktoren. Auffällig sind die vergleichsweise hohen Emissionsfaktoren für Harnstoff und für Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL) sowie die Unterschiede, die sich aus der Anwendung auf Grünland und Ackerland ergeben. Die Emissionsfaktoren sind temperaturabhängig. Deutschland liegt in der Temperaturregion B.

Tabelle 7.4: Ammoniak-Emissionsfaktoren EF für die Anwendung von Mineraldüngern, angegeben in kg kg^{-1} N. EF_B : mittlerer Emissionsfaktor für Region B; $EF_{B, \text{Grünland}}$ und $EF_{B, \text{Ackerland}}$: Emissionsfaktoren für die Anwendung auf Grünland bzw. Ackerland. (Quelle: EMEP, 2003, für die Region B)

Dünger-Typ	EF_B	$EF_{B, \text{Grünland}}$	$EF_{B, \text{Ackerland}}$
Ammoniumsulfat	0,020	0,020	0,020
Ammoniumnitrat	0,015	0,016	0,006
Kalkammonsalpeter	0,015	0,016	0,006
Harnstoff	0,17	0,230	0,115
Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL)	0,09	0,12	0,06
Ammonium-phosphate	0,020	0,020	0,020
andere NK- und NPK-Dünger auf Ammoniumnitrat-Basis	0,015	0,016	0,006
reine Nitrat-Dünger (z.B. KNO_3)	0,005	0,005	0,005

7.2.2 Teilweiser oder vollständiger Ersatz von Harnstoff durch Kalkammonsalpeter

Die NH_3 -Emissionen wurden gegenüber den Inventarberechnungen leicht vereinfacht durchgeführt. Eine Trennung der Anwendung auf Grünland und Ackerland wurde beibehalten. Der Ersatz von 50 % des Harnstoffs bzw. von AHL wurde nach dem gleichen Schlüssel vorgenommen, wie er für 2003 berechnet worden war. Die Ergebnisse sind nach Bundesländern getrennt in Tabelle 7.5 aufgeführt.

Die Minderungen sind erheblich und räumlich durchaus unterschiedlich.

Tabelle 7.5: Ammoniak-Emissionen bei Anwendung von Harnstoff-Düngern, bei 50%-igem Ersatz und bei vollständigem Ersatz durch Kalkammonsalpeter

	x_{acker}	E_{NH_3} 2006	E_{NH_3} 50 % Harnstoff Ersetzt	Minderung 50 % Harnstoff Ersetzt	E_{NH_3} 100 % Harnstoff ersetzt	Minderung 100 % Harnstoff ersetzt
	kg kg^{-1}	Gg a^{-1} NH_3	Gg a^{-1} NH_3	%	Gg a^{-1} NH_3	%
Schleswig-Holstein	0,74	14,6	8,5	42	2,3	84
Niedersachsen	0,75	15,7	9,4	40	3,1	80
Nordrhein-Westfalen	0,75	6,6	4,2	37	1,8	73
Hessen	0,69	3,1	1,9	38	0,7	77
Rheinland-Pfalz und Saarland	0,66	1,1	0,8	27	0,5	53
Baden-Württemberg	0,66	3,1	2,1	31	1,2	61
Bayern	0,67	5,3	4,1	23	2,9	46
Brandenburg	0,75	5,2	3,1	41	1,0	81
Mecklenburg-Vorpommern	0,85	13,7	7,8	44	1,8	87
Sachsen	0,82	4,0	2,4	39	0,9	78
Sachsen-Anhalt	0,89	7,6	4,4	42	1,2	84
Thüringen	0,84	4,3	2,5	41	0,8	83
Stadtstaaten	0,75	0,2	0,1	22	0,1	42
Summen		84,6	51,3	39	18,3	78

x_{Acker} : Anteil der Düngermengen, die auf Ackerland entfallen

7.2.3 Nebenwirkungen

Die N_2O - und die NO-Emissionen aus der Anwendung von Mineraldüngern werden auf die Gesamtmenge des eingesetzten N bezogen. Da diese sich nicht ändert, bleiben die Emissionen von N_2O und NO ebenfalls unverändert.

7.2.4 Umsetzbarkeit

Die Umsetzung ist durch die Vorteile der Anwendung von Harnstoff, insbesondere als Flüssigdünger, eingeschränkt.

7.2.5 Kosten

Kosten sind derzeit nicht schätzbar.

7.3 Maßnahme: Kombination von Düngung nach Empfehlung und verringertem Einsatz von Harnstoff-Düngern

	L 014
Kurzbeschreibung Die unter 7.1 und 7.2 angeführten Minderungsgründe gelten insbesondere für die Kombination der beiden Minderungsmaßnahmen; hohe Überschüsse werden im Wesentlichen in den gleichen Regionen beobachtet wie hoher Harnstoff-Verbrauch.	
Minderungspotenzial: Die theoretischen Minderungspotenziale sind sehr hoch und belaufen sich auf mehr als 80 % Reduktion. Die unter 7.1 und 7.2 gemachten Einschränkungen gelten hier jedoch sinngemäß.	
Umsetzung siehe Kapitel 7.1 und 7.2	
Ansatz siehe Kapitel 7.1 und 7.2	
Kosten nicht schätzbar	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Die Minderungen der Lachgas-Emissionen beruhen auf einem Mindereinsatz von N insgesamt.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 7.3 und Kapitel 7.5.	

7.3.1 Rechenverfahren

Die in Tabelle 7.2 nach Düngeempfehlung geschätzten Düngermengen wurden zunächst aus Wirtschaftsdüngern erbracht. Die danach verbleibenden N-Mengen wurden ausschließlich mit Düngern mit niedrigen Emissionsfaktoren (hier: Kalkammonsalpeter) abgedeckt. Die so erhaltenen Ergebnisse sind in Tabelle 7.5 zusammengefasst.

Die mögliche Senkung der Emissionen ist erheblich.

Für die Nebenwirkungen gilt das unter 7.1. und 7.2 gesagte sinngemäß, für die Durchsetzbarkeit ebenfalls.

Tabelle 7.5: Ammoniak-Emissionen bei Verzicht auf überschüssige N-Düngung und ausschließlicher Verwendung von Düngern mit niedrigen Emissionsfaktoren (Kalkammonsalpeter)

	x_{acker}	E_{NH_3} 2003		Minderung
	kg kg^{-1}	ohne Maßnahmen $\text{Gg a}^{-1} \text{NH}_3$	mit Maßnahmen $\text{Gg a}^{-1} \text{NH}_3$	%
Schleswig-Holstein	0,74	12,6	0,70	94
Niedersachsen	0,75	17,3	1,29	93
Nordrhein-Westfalen	0,75	8,0	0,68	92
Hessen	0,69	3,5	0,82	77
Rheinland-Pfalz und Saarland	0,66	1,4	0,67	52
Baden-Württemberg	0,66	3,3	0,37	89
Bayern	0,67	6,1	2,23	64
Brandenburg	0,75	4,3	1,21	72
Mecklenburg-Vorpommern	0,85	13,3	1,49	89
Sachsen	0,82	3,6	0,83	77
Sachsen-Anhalt	0,89	7,9	1,18	85
Thüringen	0,84	3,6	0,72	80
Summen		85	12	86

x_{Acker} : Anteil der Düngermengen, die auf Ackerland entfallen

7.3.2 Umsetzbarkeit

Die in den Kap. 7.1 und 7.2 dargestellten Einschränkungen gelten hier sinngemäß.

7.3.4 Kosten

Kosten können nicht berechnet werden.

7.4 **Maßnahme: Einsatz von Leguminosen zur N-Versorgung der Pflanzenbestände**

	L 015
Kurzbeschreibung Leguminosen sind in der Lage, atmosphärischen Distickstoff in pflanzenverfügbaren Stickstoff umzuwandeln. Diese biologische N-Fixierung ist nach derzeitigem Stand des Wissens nur mit geringen Verlusten in Form von NH ₃ -Emissionen verbunden.	
Minderungspotenzial: Im Prinzip sind Minderungspotenziale erheblich.	
Umsetzung Die Umsetzung ist zurzeit praktisch an den ökologischen Landbau gebunden.	
Ansatz Förderung des ökologischen Landbaus	
Kosten noch nicht quantifizierbar	
Synergien/Wechselwirkungen mit anderen Umweltzielen (bspw. Klimaschutz) Minderungen der direkten Lachgas-Emissionen stehen wahrscheinlich erhöhte indirekte Lachgas-Emissionen entgegen. Der Gesamteffekt ist noch nicht schätzbar.	
Datenquellen/Referenzen siehe Text des Kapitels 7.4 und Kapitel 7.5.	

7.4.1 **Emissionen aus dem Leguminosen-Anbau**

Biologische N-Fixierung findet in nennenswertem Umfang nur durch Leguminosen statt. Emissionen von N-Spezies beziehen sich in erster Linie auf die Menge des fixierten N. Dieser wird in Deutschland für jede Feldfrucht aus der Anbaufläche und der artspezifischen N-Fixierung berechnet. Dabei werden auch die Flächen von Klee-Gras- und Luzerne-Gras-Gemischen berücksichtigt. Informationen, die in ähnlich einfacher Weise gestatten, die N-Versorgung etwa eines Getreidebestandes mit ausschließlichen Einsatz von Leguminosen zu erreichen, lassen noch keine Emissionsschätzungen zu. Arbeiten wie die von Jost (2003) oder Jung (2003) sind zu spezifisch.

Der Versuch, die Verringerung der Emissionen N-haltiger Spezies durch N-Versorgung von Ackerbeständen zu beschreiben, hat zur Formulierung eines Forschungsprojekts geführt, das im Frühjahr 2009 abgeschlossen sein sollte.

7.4.2 Nebenwirkungen

Leguminosen-Anbau ist mit einer vernachlässigbaren Freisetzung von N₂O verbunden. IPCC (2006) schlägt daher vor, diese Emissionen zu vernachlässigen. Allerdings entstehen N₂O-Emissionen aus Pflanzenrückständen nach der Ernte.

7.4.4 Umsetzbarkeit

Der Einsatz von Leguminosen zur Stickstoff-Versorgung der Bestände ist im ökologischen Landbau verpflichtend. Die Umsetzung der Maßnahme hängt daher zurzeit von der Ausweitung des ökologischen Landbaus ab.

7.5 Literatur

Andrews, M., Scholefield, D., Abberton, M.T., McKenzie, B.A., Hodge, S., Faven, J.A. (2007): Use of white clover as alternative to nitrogen fertilizer for dairy pastures in nitrate vulnerable zones in the UK: productivity, environmental impact and economic considerations. *Ann. Appl. Biol.* **151**, 11-23

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm>

Johnson, J. M.-F., Franzluebbers, A. J., Lachnicht Weyers, S., Reicosky, D.C. (2007): Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environ. Pollut.* **150**, 107-124

Jost, B. (2003): Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* in Reinsaat und von *Vicia faba* und *Pisum sativum* in Reinsaat und im Gemenge mit *Avena sativa*, Dissertation Universität Göttingen. 349 S.

Jung, R. (2003): Stickstoff-Fixierleistung von Luzerne (*Medicago sativa* L.), Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Persischem Klee (*Trifolium resupinatum* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen. Experimentelle Grundlagen und Kalkulationsverfahren zur Ermittlung der Stickstoffbilanz. Dissertation Universität Göttingen, 350 S.

LWK-WE – Landwirtschaftskammer Weser-Ems (2003): Empfehlungen zur Stickstoffdüngung nach der N_{min}-Methode.

KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.) (2004): Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05. KTBL-Datensammlung. 19. Aufl., Darmstadt: KTBL, 573 S

Stat-LA – Statistische Landesämter, Reihe C I-j/03: Bodennutzung

8 Verringerung des Protein-Konsums der deutschen Bevölkerung – Aufklärung der Verbraucherinnen und Verbraucher

8.1 Protein-Konsum und Ammoniak-Emissionen

Der mittlere Protein-Bedarf einer deutschen Frau beträgt etwa 50 g d⁻¹, der eines Mannes ungefähr 60 g d⁻¹. Empfohlen werden etwa 30 g d⁻¹ tierisches Eiweiß. Etwa In Adolf et al. (1995) werden als tatsächliche Protein-Aufnahmen mit der Nahrung im Mittel 71,8 g d⁻¹ für Frauen und 93,5 g d⁻¹ für Männer angegeben. Davon waren bei Frauen 42 g d⁻¹ (30 %) tierisches Eiweiß, bei Männern 55,6 g d⁻¹ (52 %). Ähnliche Anteile für tierisches Protein weist der Ernährungsbericht 2004 (DGE, 2004) auf.

Ein großer Teil der Krankheiten wird auf chronische Fehlernährung zurückgeführt, insbesondere durch zu geringe Anteile an Obst und Gemüse (DGE, 2004, Kap. 1.5.4.2). Eine Aufklärung der Bevölkerung würde zu einem geringeren Protein- und Fett-Verzehr führen und die Märkte insbesondere für Nahrungsmittel tierischer Herkunft entlasten. Dies wäre nicht nur im Bereich der Tierproduktion selbst emissionsmindernd (Emissionsminderung größenordnungsmäßig 20 bis 30 % für alle Gase), sondern würde auch zu erheblichen Minderungen der Emissionen aus dem Pflanzenbau und im Vorleistungsbereich führen. Es würde allerdings die Einkommensstrukturen der Landwirtschaft verändern.

Bei weltweit offenen Märkten führt eine Verringerung des Eiweiß-Konsums in Deutschland nicht notwendigerweise zu einer Reduktion der Fleisch- und Milchproduktion, sondern eher zu einer Erhöhung der Exporte und wäre deshalb nicht emissionsmindernd.

8.2 Literatur

Adolf, T., Schneider, R., Eberhardt, W., Hartmann, S., Herwig, A., Heseker, H., Hünchen, K., Kübler, W., Matiaske, B., Moch, K.J., Rosenbauer, J.: Ergebnisse der Nationalen Verzehrsstudie (1985-1988) über die Lebensmittel- und Nährstoffaufnahme in der Bundesrepublik Deutschland. In: Kübler, W., Anders, H.J., Heeschen, W. (Hrsg.): Band XI der VERA-Schriftenreihe. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr.Fleck, Niederkleen (1995), 241 S.

DGE – Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hrsg.) (2004): Ernährungsbericht 2004. Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Bonn, 483 S.

9 Erhöhung des Anteils des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlichen Produktion

Die deutschen landwirtschaftlichen Emissionsberechnungen gehen von Aktivitätsdaten und Häufigkeitsverteilungen von emissionserklärenden Variablen aus, die (im Wesentlichen) das Statistische Bundesamt bereitstellt. Hierin sind die Verfahren des ökologischen Landbaus nicht gesondert ausgewiesen.

Die Verfahren und die Emissionen des ökologischen Landbaus sind deshalb in den Berechnungen enthalten, lassen sich aber nicht gesondert ausweisen. Eine Bearbeitung der vorhandenen Datensätze mit dem Ziel, ökologischen und konventionellen Landbau miteinander zu vergleichen, setzt die Kenntnis der üblichen Verfahrensketten und ihrer Häufigkeitsverteilungen voraus. Diese sind zurzeit nicht verfügbar.

10 Vergleich mit den in der Thematischen Strategie beschriebenen Minderungen

10.1 Ammoniak-Emissionen in der Thematischen Strategie zur Luftreinhaltung

Die Thematische Strategie (KOM, 2005) legt Zwischenziele für eine Minderung der Luftverschmutzung in der Europäischen Union fest, mit deren Hilfe die Schädigung der menschlichen Gesundheit (vor allem durch bodennahes Ozon und Partikel) sowie der Umwelt durch Versauerung und Eutrophierung verringert werden soll. Im Sektor Landwirtschaft soll vor allem eine Verringerung der Ammoniak-Emissionen erreicht werden.

Konkrete Vorschläge zu Minderungsmaßnahmen in der deutschen Landwirtschaft wurden von IIASA mit Hilfe des RAINS-Modells erarbeitet und in BMU (2006) zusammengestellt.

10.2 Vergleich der Schätzungen der Minderung der Ammoniak-Emissionen

Die in BMU (2006) genannten Zahlen sind in Tabelle 10.1 den in der vorliegenden Studie erarbeiteten gegenübergestellt.

Deutlich wird, dass die beiden Listen zwar größenordnungsmäßig ähnliche Minderungen beschreiben, sie jedoch auf je eigene Weise ermitteln. Eine Ursache der mangelnden Vergleichbarkeit im Detail liegt in der andersartigen Klassifizierung von Quellen und Maßnahmen sowie in einer grundsätzlich unterschiedlichen Beschreibung des Stickstoffs in der Tierhaltung⁹. Auch die Kategorisierung der Verfahren zur Lagerung und Ausbringung ist unterschiedlich. Es wurde in der Vergangenheit versucht, aus den deutschen Datensätzen solche abzuleiten, die RAINS-konform sind¹⁰. Diese „Übersetzung“ ist nicht trivial.

Die Minderungsrechnungen in RAINS sind „top down“, die in der vorliegenden Studie „bottom up“.

Die vorliegende Studie weist Minderungen nur dort aus, wo hinreichend sichere Prognose-Daten verfügbar oder ableitbar waren. So werden die Tierzahlen bei Schweinen nicht verändert oder keine Aussagen über die zukünftige Geflügel-Haltung gemacht.

⁹ IIASA stellt derzeit sein Rechenverfahren auf ein Stofffluss-Verfahren nach dem Vorbild von GAS-EM um.

¹⁰ vgl. Klimont et al. (2005)

Eine Vergleichbarkeit der Aussagen im Detail ist aus den genannten Gründen nicht zu erwarten.

Tabelle 10.1: Geschätzte Minderungen der Ammoniak-Emissionen bei BMU (2006), Tab. 6, und in der vorliegenden Studie. Angaben in Gg a⁻¹ NH₃

Aktivität	Maßnahme	Geschätzte Minderung		Bemerkungen
		IIASA	diese Studie	
Mineraldünger-Einsatz	Anpassung an Dünger-Bedarf und Verringerung des Harnstoff-Einsatzes		40	Maximal technisch machbar wäre etwa 70 Gg a ⁻¹ .
Mineraldünger-Einsatz	Verringerung des Harnstoff-Einsatzes	46,6		IIASA-Werte entsprechen einen etwa 50 %-igen Ersatz von Harnstoff
Geflügel	Verringerung der Ausbringungsverluste	0,052		Quelle von untergeordneter Bedeutung
Schafe und Ziegen	Verringerung der Ausbringungsverluste	2,04		Überschätzung der Möglichkeit; Gesamt-Emissionen aus der Schafhaltung nach GAS-EM etwa 2,5 Gg a ⁻¹ . Kaum eine Minderung machbar
Milchkühe	Verringerung der Lagerverluste, Flüssigmist	50,7		Bedeutung der Maßnahme aus unserer Sicht überschätzt
Milchkühe	Verringerung der Lagerverluste, Festmist	2,5		Quelle aus unserer Sicht von untergeordneter Bedeutung
Milchkühe	Umstellung auf Festmist-Verfahren		6	
Milchkühe	Verlängerung der Weidedauer		4	Quelle aus unserer Sicht von untergeordneter Bedeutung
andere Rinder	Verringerung der Lager- und Ausbringungsverluste, Festmist	17,2		
Schweine	Abluftreinigungsanlagen		20	
Schweine	Verringerung der Lagerverluste		5	
Schweine	Verringerung der Ausbringungsverluste, Flüssigmist	11,2		
Schweine	Verringerung der Ausbringungsverluste, Festmist	2,86		
alle Tiere	Verringerung der Ausbringungsverluste		20	
Summen *)		133	100	

*) bei den in Tab. 6, letzte Zeile, aufgeführten Minderungsmaßnahmen für andere Rinder handelt es sich um einen Teilaspekt der unter „andere Rinder, Verringerung der Lager- und Ausbringungsverluste, Festmist“ aufgeführten Maßnahme

10.3 Literatur

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006): Abschätzung der Folgen der Thematischen Strategie zur Verbesserung der Luftqualität für Deutschland. Art der Maßnahmen, deren Wirkung und Kosten. Hintergrundpapier des BMU. Referat IG I 3 – Gebietsbezogene Luftreinhaltung. Stand: März 2006.

http://www.bmu.de/files/luftreinhaltung/downloads/application/pdf/strategien_luftqualitaet.pdf

Klimont, Z.; Webb, J.; Dämmgen, U. (2005): Livestock husbandry systems in Europe: evaluation of the 2003 UNECE ammonia expert group questionnaire. In: Kuczynski, T.; Dämmgen, U.; Webb, J.; Myczko, A. (Hrsg.): Emissions from European agriculture. Wageningen Academic Publishers, Wageningen (2005), 71-96.

KOM - Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2005): Thematische Strategie zur Luftreinhaltung. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0446:FIN:DE:PDF>

11 Anhang

11.1 Allgemeine Zusammenhänge zwischen der Minderung von Ammoniak-Emissionen und der daraus resultierenden direkten und indirekten Freisetzung von Lachgas

Als direkte Emissionen von N_2O aus Böden bezeichnet man die Emissionen, die direkt auf N-Einträge in die Böden zurückzuführen sind. Sie werden als den Einträgen proportional betrachtet. Der Emissionsfaktor beträgt $0,01 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}_2\text{O-N}$.

Als indirekte Emissionen von N_2O bezeichnet man die Emissionen, die sich aus solchen zusätzlich umsetzbaren N-Mengen in Böden und Gewässern ergeben, die

- aus den Einträgen über Depositionen von reaktivem N in die Böden und
- aus den N-Einträgen in Oberflächen- und Grundwässer

resultieren. Sie werden derjenigen Quelle zugeordnet, die für den Eintrag verantwortlich ist.

Alle Maßnahmen zur Minderung von NH_3 -Emissionen (mit Ausnahme der Abluftreinigung) haben eine Minderung der indirekten N_2O -Emissionen als Folge der Deposition von NH_4 -Salzen und gasförmigem NH_3 zur Folge. Der Emissionsfaktor beträgt auch hier $0,01 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}_2\text{O-N}$. Die resultierenden N_2O -Emissionen aus NH_3 -Emissionen kompensieren die durch verringerte N-Einträge in die Böden entstandenen direkten Emissionen. Dagegen werden den N-Einträgen aus der Deposition keine indirekten Emissionen durch Auswaschung und Oberflächenabfluss zugerechnet, wohl aber den N-Einträgen mit den Düngern. Unabhängig davon, ob dieses Verfahren den Wert einer Milchmädchenrechnung hat, wird hier nach den Empfehlungen von IPCC (2006) davon ausgegangen, dass der aus einer Emissionsminderung resultierende Mehreintrag in den Boden die Minderungsmaßnahme mit größenordnungsmäßig $15 \text{ g N}_2\text{O je kg N}$ „belastet“. Das entspricht einer Emission an GWP von etwa $0,45 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$. (Für jedes zusätzliche kg N wird ein indirekter Treibhauseffekt von $0,7 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ errechnet.)

Dass eine Verringerung der NH_3 -Emissionen auf Kosten höherer N-Einträge in die Böden in der Regel nicht wünschenswert ist, weil sie zu einer Erhöhung der N-Vorräte in den Böden führt, soll erwähnt werden, bleibt aber hier zunächst unberücksichtigt.

11.2 Literatur

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm>