

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 299 42 245/02  
UBA-FB 000249



## **BMVEL/UBA-Ammoniak- Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahre 2010**

von

**Helmut Döhler, Brigitte Eurich-Menden**

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

**Ulrich Dämmgen, Bernhard Osterburg, Manfred Lüttich,  
Angela Bergschmidt**

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig

**Werner Berg, Reiner Brunsch**

Institut für Agrartechnik (ATB), Bornim

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verbraucherschutz,  
Ernährung und Landwirtschaft



Bundesministerium  
für Verbraucherschutz, Ernährung  
und Landwirtschaft

und des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

**Vorauszahlung von 10,00 €**

durch Post- bzw. Banküberweisung,  
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der  
Postbank Berlin (BLZ 10010010)  
Fa. Werbung und Vertrieb,  
Ahornstraße 1-2,  
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte  
eine schriftliche Bestellung mit Nennung  
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**  
und der **Anschrift des Bestellers** an die  
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr  
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und  
Vollständigkeit der Angaben sowie für  
die Beachtung privater Rechte Dritter.  
Die in dem Bericht geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 33 00 22  
14191 Berlin  
Tel.: 030/8903-0  
Telex: 183 756  
Telefax: 030/8903 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiete I 1.4  
Franziska Eichler

Berlin, Februar 2002

## Berichts-Kennblatt

<b>1. Berichtsnummer</b> UBA-FB <a href="#">000249</a>	<b>2.</b>	<b>3.</b>
<b>4. Titel des Berichts</b> 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		
<b>5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)</b> Döhler, Helmut; Dämmgen, Ulrich; Eurich-Menden, Brigitte; Osterburg, Bernhard; Lüttich, Manfred; Berg, Werner; Bergschmidt, Angela; Brunsch, Rainer	<b>8. Abschlußdatum</b> 31.03.2001	
<b>6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)</b> Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft; Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt Institut für Agrartechnik Bornim, Max-Eyth-Alle 100, 14469 Potsdam-Bornim Institut für Agrarökologie in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume (BAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig	<b>9. Veröffentlichungsdatum</b>	
<b>7. Fördernde Institutionen (Name, Anschrift)</b> Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Postfach 18 02 03, 60083 Frankfurt am Main Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14191 Berlin	<b>10. UFOPLAN-Nr.</b> 299 42245/02	
	<b>11. Seitenzahl</b> 231	
	<b>12. Literaturangaben</b> 154	
	<b>13. Tabellen und Diagramme</b> 86	
	<b>14. Abbildungen und Karten</b> 34	
<b>15. Zusätzliche Angaben</b> Anhangteil separat		
<b>16. Kurzfassung</b> <p>Ziel des Projektes war u.a. die Entwicklung von Methoden zur Berechnung von Emissionen aus dem landwirtschaftlichen Bereich, die als fortschreibungsfähige Standardverfahren in das zentrale System "Emissionen" des Umweltbundesamtes integriert werden können. Grundlage für die zukünftigen Emissionsberechnungen soll die im Projekt erfolgte Abschätzung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft für die Jahre 1990, 1994-1996 und 1999 sowie eine Prognose der Entwicklung von NH<sub>3</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2010 auf Bundesebene unter Einbeziehung möglicher Minderungspotentiale und Kosten darstellen.</p> <p>Die Emissionen wurden aus den Teilbereichen Stallhaltung, Weidegang, Lagerung und Ausbringung mit Hilfe von national abgestimmten Emissionsfaktoren, den Tierbestandszahlen aus der amtlichen Tierzählung sowie Daten zu Tierhaltungsverfahren und Wirtschaftsdüngermanagement ermittelt. Informationen zu Tierhaltungsverfahren und Wirtschaftsdüngermanagement wurden durch Befragungen in verschiedenen Regionen Deutschlands erhoben. Zur Berechnung der Ammoniak-Emissionen wurden zwei Modelle eingesetzt. Das auf Excel basierte Kalkulationsprogramm GAS-EM ermittelt die Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in den vergangenen Jahren, darüber hinaus ist die Berechnung anderer NH<sub>3</sub>-Quellen sowie die Kalkulation weiterer Spurengasemissionen möglich. Das Agrarsektormodell RAUMIS führt die</p>		

Flächennutzung, Tierhaltung und eine Vielzahl anderer statistischer Quellen zu einer konsistenten Abbildung der deutschen Landwirtschaft zusammen. Auch hier können Berechnungen die Ammoniak-Emissionen der vergangenen Jahre durchgeführt werden; zusätzlich sind Kostenberechnungen, Sensitivitätsanalysen und Szenariorechnungen für die Zukunft möglich.

Nach den Berechnungen betragen die Emissionen im Bereich der Tierhaltung für das Jahr 1990 (Basisjahr)  $610 \text{ Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$  und sinken bis zum Jahr 1999 auf rund  $466 \text{ Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$ . Erklärt wird dieser starke Rückgang mit dem starken Tierbestandsabbau in den neuen Ländern im Zeitraum zwischen 1990 und 1992.

Zur Berechnung verschiedener Minderungsszenarien wurden zunächst Minderungspotentiale ausgewählter Maßnahmen analysiert. Als besonders geeignete technische Ansatzstellen für die Ammoniak-Emissionsminderung sind bei Rindern die Wirtschaftsdüngerausbringung und die Güllelagerkapazität zu nennen, bei Schweinen die Lagerabdeckung, die Anwendung technischer Möglichkeiten bei der Ausbringung der Wirtschaftsdünger und die N-angepasste Fütterung. Bei Geflügel sind vor allem die Fütterung und Kottrocknung von Bedeutung. Bei allen Tierarten stellt die unverzügliche Wirtschaftsdüngereinarbeitung nach der Ausbringung eine wirksame und kostengünstige Maßnahme dar.

#### **17. Schlagwörter**

Ammoniak-Emissionen, Emissionsfaktoren, Berechnungsmodell, Methan-Emissionen, Lachgas-Emissionen, Emissionsprognosen, Emissions-Inventare

**18. Preis**

**19.**

**20.**



## Report Cover Sheet

<b>1. Report No.</b> UBA-FB 000249	<b>2.</b>	<b>3.</b>
<b>4. Title of Report</b> Adaptation of the German emission calculation methodology to international guidelines, determination and forecasting of ammonia emissions from German agriculture, and scenarios for reducing them by 2010		
<b>5. Author(s); surname(s), first name(s)</b> Döhler, Helmut; Dämmgen, Ulrich; Eurich-Menden, Brigitte; Osterburg, Bernhard; Lüttich, Manfred; Berg, Werner, Bergschmidt, Angela; Brunsch, Rainer		<b>8. Completion date</b> 31.03.2001
<b>6. Performing Organisation (name, address)</b> Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft; Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt Institut für Agrartechnik Bornim, Max-Eyth-Alle 100, 14469 Potsdam-Bornim Institut für Agrarökologie in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume (BAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig		<b>9. Publication date</b>
<b>7. Funding Institution (name, address)</b> Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Postfach 18 02 03, 60083 Frankfurt am Main Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14191 Berlin		<b>10. UFOPLAN No.</b> 299 42245/02
<b>11. Number of pages</b> 231		<b>12. References</b> 154
<b>13. Tables and diagrams</b> 86		<b>14. Figures and maps</b> 34
<b>15. Additional information</b> Annexes in a separate volume		
<b>16. Abstract</b> <p>Amongst the aims of the project was to develop methods for calculating emissions from agriculture which can be integrated into the Federal Environmental Agency's central "Emissions" system as updatable standard procedures. The estimates made in the project with regard to national ammonia emissions from agriculture for 1990, 1994-1994 and 1999 and their prognosticated development until 2010, taking into account potentially achievable reductions and costs, are to serve as the basis for future emission calculations.</p> <p>Emissions from the sub-sectors indoor/outdoor livestock production, storage and land spreading were determined using nationally agreed emission factors, data on livestock numbers obtained from official livestock censuses, and data on livestock farming and manure management techniques. Information on livestock farming and manure management techniques was generated by conducting surveys in different regions of Germany. Two models were used to calculate ammonia emissions. The Excel-based GAS-EM programme calculates past years' ammonia emissions from animal husbandry and also permits calculation of emissions of other NH<sub>3</sub> sources and other trace traces. The model RAUMIS for the agricultural sector combines data on land use, animal husbandry and a multitude of other statistical parameters to produce a consistent picture of German agriculture. It too permits ammonia emissions from past years to be</p>		

calculated and can be used additionally for cost calculations, sensitivity analyses, and calculation of the future development in different scenarios.

According to the calculations performed, ammonia emissions from animal husbandry amounted to 610 Gg a<sup>-1</sup> for 1990 (base year) and fell to about 466 Gg a<sup>-1</sup> until 1999. This sharp decrease is ascribed to the strong decline in livestock numbers in the new Federal States between 1990 and 1992.

Calculation of different abatement scenarios involved as the first step an analysis of the abatement potential of selected measures. Areas particularly suited to reducing ammonia emissions through technical measures were identified as follows: For cattle, land spreading of manure and slurry storage capacity. For pigs, covering of slurry storage tanks, use of possible techniques for land spreading of manure, and N-adapted feeding. For poultry, N-adapted feeding and drying of the excrements are of main relevance. Ploughing-in of animal wastes directly after spreading constitutes an effective and inexpensive measure for all livestock categories.

**17. Key words**

ammonia emissions, emission factors, calculation model, methane emissions, emissions of laughing gas, emission forecasting, emission inventories

**18. Price**

**19.**

**20.**

## **Impressum**

Dieser Bericht wurde durch eine Projektgemeinschaft, bestehend aus dem Institut für Agrarökologie (AOE) und dem Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume (BAL), beide Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt und dem Institut für Agrartechnik Bornim (ATB), Potsdam-Bornim, erstellt.

### **Mitglieder der Projektgemeinschaft**

Berg, Werner, Dr., Institut für Agrartechnik Bornim (ATB), Max-Eyth-Allee 100,  
14469 Potsdam-Bornim

Bergschmidt, Angela, Dipl.-Ing. agr., Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und  
ländliche Räume (BAL) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, (FAL),  
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Brunsch, Reiner, Dr., Institut für Agrartechnik Bornim (ATB), Max-Eyth-Allee 100,  
14469 Potsdam-Bornim

Dämmgen, Ulrich, Dir. u. Prof. Dr., Institut für Agrarökologie der Bundesforschungsanstalt für  
Landwirtschaft, (FAL-AOE), Bundesallee, 50, 38116 Braunschweig

Döhler, Helmut, Dipl.-Ing. agr., Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft  
(KTBL), Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt (Projektleitung)

Eurich-Menden, Brigitte, Dr., Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft  
(KTBL), Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt

Lüttich, Manfred, Dr., Institut für Agrarökologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirt-  
schaft (FAL-AOE), Bundesallee, 50, 38116 Braunschweig

Osterburg, Bernhard, Dipl.- Ing. agr., Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und  
ländliche Räume (BAL) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),  
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

### **Kapitelerstellung:**

Kapitel 1: Dämmgen, FAL-AOE und Döhler, KTBL

Kapitel 2: Osterburg, FAL-BAL und Döhler, KTBL

Kapitel 3: Eurich-Menden, KTBL, Bergschmidt, FAL-BAL und Berg, Brunsch, ATB

Kapitel 4: Dämmgen, FAL-AOE und Osterburg, FAL-BAL

Kapitel 5: Osterburg, FAL-BAL und Döhler, KTBL

Kapitel 6: Osterburg, FAL-BAL

Kapitel 7: Berg, ATB

Kapitel 8: Osterburg, FAL-BAL

Kapitel 9: Osterburg, FAL-BAL und Döhler, KTBL

### **Zusammenstellung:**

Brigitte Eurich-Menden, KTBL

## **Mitglieder der KTBL-UBA-Arbeitsgruppe "Emissionsfaktoren und Emissionsminderungsmaßnahmen:"**

Frau F. Eichler, UBA, Berlin, Projektträger  
Herr Dr. A. Gronauer, Agrartechnik Weihenstephan  
Herr Prof. Dr. T. Jungbluth, Universität Hohenheim (Vorsitzender)  
Herr Dr. P. Oswald, BMVEL, Bonn, Referat 217, Projektträger  
Herr Dr. J.-P. Ratschow, LK Westfalen-Lippe, Münster  
Frau Dr. K. Scheiner-Bobis, BMU, Bonn  
Herr Dr. G. Steffens, LUFA Oldenburg  
Herr Prof. H. Van den Weghe, Universität Vechta  
Frau Dr. Wanka, Sächsische Landesanstalt, Köllitsch

## **Mitglieder der BML-Arbeitsgruppe "Agrarstruktur und Ökonomie"**

Frau E. Angenendt, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim  
Frau C. Berns, BMVEL, Bonn, Projektträger  
Frau F. Eichler, UBA, Berlin, Projektträger  
Herr Prof. C. Fuchs, Fachhochschule Neubrandenburg  
Herr Prof. H.-U. Hensche, Uni.-Gesamthochschule Paderborn, Abt. Soest - Fb 9 – Agrarwirtschaft  
Herr Prof. H. Jochimsen, LK Schleswig-Holstein, Kiel  
Herr S. Lange, BLE, Frankfurt, Projektträger  
Herr H.-U. Mueller, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim  
Herr Ltd. LD. Dr. J.-P. Ratschow, LK Westfalen Lippe, Münster  
Herr M. Sacher, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Böhlitz  
Herr LD Ch. Stockinger, Abteilung Ökonomik der Produktionsverfahren, Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, München  
Herr Prof. H.-W. Windhorst, Institut für Strukturforschung und Planung in agrarischen Intensivgebieten, Hochschule Vechta  
Herr Prof. J. Zeddies, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim

## Glossar

A	Aktivität
Akh	Arbeitskraftstunde
a	Jahr
Ca	Calcium
CH <sub>4</sub>	Methan
cm	Zentimeter
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
<i>E</i>	Emission, Emissionsstrom
<i>EEA</i>	Aktivität (emission explaining variable)
<i>EF</i>	Emissionsfaktor
Gg	Gigagramm (10 <sup>9</sup> g)
H	Wasserstoff, Protonen
ha	Hektar
kg	Kilogramm
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Mg	Megagramm (10 <sup>6</sup> g bzw. Tonnen)
N	Stickstoff
N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid (Lachgas)
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
NO	Stickstoffmonoxid
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrat
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxide NO und NO <sub>2</sub>
O <sub>3</sub>	Ozon
S	Schwefel
s	Sekunde
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
SNAP	selected nomenclature for air pollutants (UN/ECE-Terminologie)
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
TAN	in Ammoniak umwandelbarer gebundener Stickstoff (ammonifizierbares N, total ammonical nitrogen)
Tg	Teragramm (1 Tg = 1·10 <sup>12</sup> g)
TP	Tierplatz
UN	Vereinte Nationen
v <sub>D</sub>	Depositionsgeschwindigkeit
ZMP	Zentrale Markt- und Preisberichterstattung, Bonn
µg	Mikrogramm (10 <sup>-6</sup> g)



<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Hintergründe und Maßnahmen zur Erfassung und zur Minderung von Emissionen aus der Landwirtschaft .....	1
1.1.1	Versauerung und Eutrophierung – Überschreitung kritischer Belastungsgrenzen...	2
1.1.2	Das " <i>critical-loads</i> "-Konzept .....	4
1.1.3	Die Güte der gegenwärtig für die Ableitung der Emissionen im Rahmen des Multikomponenten-Protokolls und zur Festlegung nationaler Emissionsobergrenzen verwendeten Depositions- und Transmissionsmodellierung.....	5
1.1.4	Die Rolle der deutschen Landwirtschaft bei der Emission von Treibhausgasen.....	8
1.1.5	Die gegenwärtig eingesetzten Verfahren zur Quantifizierung von Emissionen aus der Landwirtschaft .....	9
1.1.6	Die relevanten nationalen und internationalen Maßnahmen zur Luftreinhaltung...	10
1.2	Problemstellung.....	12
1.3	Zielsetzung des Forschungsvorhabens .....	12
<b>2</b>	<b>Vorgehensweise .....</b>	<b>13</b>
2.1	Ermittlung der Emissionsfaktoren, Arbeitsgruppe Emissionen .....	16
2.2	Befragung in Modellregionen .....	17
2.2.1	Befragung.....	17
2.2.2	Übertragung und Hochrechnung der Befragungsergebnisse .....	19
2.3	Ergänzende Datenerhebungen.....	22
2.4	Strukturentwicklung und Politiken, Arbeitsgruppe Agrarstruktur und Ökonomie .....	23
2.5	Berechnung der Kosten von Minderungsmaßnahmen .....	23
2.6	Beschreibung der verwendeten Modelle .....	26
2.6.1	Beschreibung des Kalkulationsprogramms GAS-EM: Berechnung von Emissionsinventaren.....	27
2.6.1.1	Das Berechnungsverfahren .....	27
2.6.1.2	Datengewinnung und Datenverarbeitung.....	31
2.6.2	Beschreibung des eingesetzten Agrarsektormodells RAUMIS .....	32
2.6.2.1	Ziele, Methode und Einsatzbereiche des Modells .....	32
2.6.2.2	Einsatz des Modells RAUMIS im Projekt Landwirtschaftliche Emissionen .....	33
<b>3</b>	<b>Ammoniak-Emissionsfaktoren, Minderungsmaßnahmen und deren Kosten .....</b>	<b>48</b>
3.1	Ammoniak-Emissionsfaktoren verschiedener Haltungsverfahren .....	48
3.1.1	Rinder.....	48

3.1.2	Schweine.....	54
3.1.3	Geflügel.....	60
3.2	Lagerung von Flüssig- und Festmist.....	62
3.3	Wirtschaftsdüngerausbringung .....	66
3.3.1	Flüssigmistausbringung .....	66
3.3.2	Festmistausbringung .....	77
3.4	Emissionsfaktoren Mineraldünger.....	80
<b>4</b>	<b>Bestimmung der Ausgangssituation .....</b>	<b>81</b>
4.1	Ergebnisse erster Berechnungen mit dem Programm GAS-EM.....	81
4.1.1	Berechnungen von Emissionen auf Länderebene für die Jahre 1990 bis 1999.....	81
4.1.1.1	Ammoniak-, Lachgas- und Stickstoffmonooxid-Emissionen aus gedüngten Kulturen .....	81
4.1.1.2	Ammoniak- und Lachgas-Emissionen aus ungedüngten Kulturen .....	82
4.1.1.3	Methan-Emissionen aus der Tierhaltung .....	82
4.1.1.4	Lachgas-Emissionen aus der Anwendung von Wirtschaftsdüngern.....	82
4.1.2	Berechnung von Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung auf Land- kreisebene für die Jahre 1994 und 1996.....	83
4.1.2.1	Räumliche und zeitliche Auflösung .....	84
4.1.2.2	Differenzierung der partiellen Emissionsfaktoren .....	84
4.1.2.3	Die räumliche Variabilität von Emissionsfaktoren und der partiellen Emissionsfaktoren am Beispiel der Milchkuh-Haltung.....	84
4.1.3	Vorläufige nationale Emissionen von Treibhausgasen und versauernden und eutrophierenden Gasen aus der Landwirtschaft für die Jahre 1994 und 1996 .....	86
4.2	Ergebnisse der Emissionsberechnungen mit dem Programm RAUMIS .....	98
4.2.1	Ergebnisse der Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung für die Jahre 1990, 1995 und 1999.....	98
4.2.2	Vergleich der Schätzung von NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung für das Jahr 1996 .....	112
4.2.3	Sensitivitätsanalysen zur Abschätzung des Einflusses einzelner Annahmen auf das Kalkulationsergebnis.....	114
<b>5</b>	<b>Minderungspotentiale und Kosten einzelner Maßnahmen zur Minderung der Ammoniak-Emissionen .....</b>	<b>119</b>
5.1	Beschreibung der berechneten Maßnahmen .....	119
5.2	Ergebnisse des Vergleichs von Maßnahmen zur Emissionsminderung auf sektoraler Ebene anhand von Ergebnissen des Modells RAUMIS.....	124
5.3	Einzelbetriebliches Beispiel für Minderungspotentiale und Kosten bei Umsetzung unterschiedlicher Maßnahmen.....	129



<b>6</b>	<b>Projektionen für das Jahr 2010.....</b>	<b>132</b>
6.1	Darstellung der Annahmen für die Projektion.....	132
6.1.1	Prognose der Tierbestandszahlen und der Tierbestandsklassen.....	132
6.1.2	Prognose der Flächennutzung.....	136
6.2	Ergebnisse der Baselineprojektionen mit dem Modell RAUMIS.....	137
6.3	Berechnung ausgewählter Szenarien zur Minderung der Ammoniak-Emissionen.....	144
<b>7</b>	<b>Emissionssituation bei Methan und Distickstoffmonooxid.....</b>	<b>150</b>
7.1	Einordnung in das Emissionsgeschehen .....	150
7.2	Methan .....	150
7.2.1	Methan-Emissionen durch den tierischen Stoffwechsel .....	150
7.2.2	Methan-Emissionen aus den Exkrementen der Nutztiere .....	151
7.2.3	Summarische Methan-Freisetzung und Möglichkeiten ihrer Minderung .....	151
7.3	Distickstoffmonooxid.....	153
<b>8</b>	<b>Politikempfehlungen .....</b>	<b>155</b>
8.1	Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniak-Emissionen in den Bundesländern .....	155
8.2	Beurteilung der im "Protokoll zur Bekämpfung von Versauerung Eutrophierung und bodennahem Ozon" geforderten Maßnahmen .....	160
8.3	Politikoptionen zur Reduzierung der Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung .....	160
8.4	Vorschläge für zukünftige Politiken bei unterschiedlichem Emissions- Minderungsbedarf.....	166
<b>9</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>173</b>
9.1	Datenerhebungsbedarf.....	173
9.2	Forschungsbedarf.....	176
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>180</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>184</b>
	<b>Ergebnisteil GAS-EM.....</b>	<b>E1</b>

## Anhang

## Kapitel 1

Tab. 1.1:	Erwünschte Hauptprodukte, unerwünschte Nebenprodukte und deren Wirkungen auf Ökosysteme – Beispiele .....	1
Tab. 1.2:	Vergleich modellierter und gemessener Konzentrationen reaktiver Stickstoff-Spezies für Nordost-Brandenburg (Fläche des Vergleichsgebietes 2500 km <sup>2</sup> ) .....	7
Tab. 1.3:	Vergleich von modellierten und gemessenen Depositionen reaktiver Stickstoff-Spezies für Koniferen-Wälder in Nordost-Brandenburg (Schorfheide) .....	8
Tab. 1.4:	Berechnete Ammoniak-Emissionen für die deutsche Landwirtschaft, Angaben für 1990 in Gg a <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub> (Nennung der Tierkategorien entsprechend EEA/CORINAIR (2000)) .....	9

## Kapitel 2

Tab. 2.1:	Erforderliche Daten, deren Verfügbarkeit und Einschätzung der Datensicherheit zur Kalkulation der NH <sub>3</sub> -Emissionen .....	13
Tab. 2.2:	Datengrundlagen für die ein verbessertes Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft sowie für Szenariorechnungen .....	15
Tab. 2.3:	Durch vergleichbare Agrarstruktur gekennzeichnete Modellregionen und die für sie repräsentativen Landkreise .....	15
Tab. 2.4:	Regionale Merkmale für die Clusteranalyse und ihre Verwendung in West- und Ostdeutschland.....	19
Tab. 2.5:	Minderungsmaßnahmen (in Klammern: Kosten nicht berechnet).....	24
Tab. 2.6:	Anzahl der Stallplätze bei unterschiedlicher Lagerkapazität und Lagerdauer.....	25
Tab. 2.7:	Modellhafte Annahmen für Behältergrößen zur Außenlagerung von Gülle (proportional) .....	26
Tab. 2.8:	Einsatz der Modelle GAS-EM und RAUMIS im Projekt "Landwirtschaftliche Emissionen" .....	27
Tab. 2.9:	Berücksichtigte Tierbestandsgrößenklassen in Stallplätzen pro Betrieb nach alten und neuen Ländern.....	35
Tab. 2.10:	Vergleich der von Experten geschätzten und in RAUMIS hochgerechneten Anteile von Mistsystemen für das Jahr 1990 im Vergleich zu ausgewerteten Daten des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 1995 .....	36
Tab. 2.11:	Vergleich der von Experten geschätzten und in RAUMIS hochgerechneten Anteile von Mistsystemen für das Jahr 1999 im Vergleich zu KTBL-Expertenschätzungen für das Jahr 1999 und ausgewerteten Daten des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 1995 .....	37
Tab. 2.12:	Vergleich der von Experten geschätzten Rationsanteile von Gras, Heu und Grassilage an der Grundfutter-Trockenmasse und den geschätzten Werten aus RAUMIS.....	39

Tab. 2.13: Vergleich der von Experten geschätzten Verteilung von Gülle und den geschätzten Werten aus RAUMIS .....	43
Tab. 2.14: Abbildung der Tierhaltungsverfahren in RAUMIS .....	47

### Kapitel 3

Tab. 3.1: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Milchviehhaltungsverfahren .....	49
Tab. 3.2: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Bullenhaltungsverfahren .....	49
Tab. 3.3: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Jungviehhaltungsverfahren .....	50
Tab. 3.4: Ammoniak-Emissionsfaktoren für die Weidehaltung (nach Inventory Niederlande)50	
Tab. 3.5: Ammoniak-Minderungsmaßnahmen in der Rinderhaltung .....	51
Tab. 3.6 : Ammoniak-Emissionsfaktoren für Mastschweinehaltungsverfahren.....	55
Tab. 3.7: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Zuchtsauenhaltungsverfahren.....	56
Tab. 3.8: Ammoniak-Minderungsmaßnahmen in der Schweinehaltung .....	57
Tab. 3.9: Minderungsmehrkosten pro kg gemindert NH <sub>3</sub> in der Schweinehaltung, Außenklimastall und N-angepasste Fütterung .....	58
Tab. 3.10: Spezifischen Verfahrenskosten bei verschiedenen Mastschweinehaltungsverfahren mit N-angepasste Fütterung, Neubau .....	59
Tab. 3.11: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Legehennenhaltungsverfahren .....	60
Tab. 3.12: Ammoniak-Emissionsfaktoren für die Geflügelmast .....	61
Tab. 3.13: NH <sub>3</sub> -Verluste (%) während der offenen Lagerung von Jauche, Gülle und Festmist (keine Schwimmdecke vorhanden).....	62
Tab. 3.14: Mittlere Emissionsminderung (%) verschiedener Abdeckungen für Güllelagerbehälter, Referenz: nicht abgedeckt, ohne Schwimmschicht .....	63
Tab. 3.15: Kosten der Güllelager-Abdeckung unterschiedlicher Untersuchungen.....	64
Tab. 3.16: Spezifischen Kosten der Emissionsminderung bei der Abdeckung von Güllebehältern .....	65
Tab. 3.17: Kumulative Ammoniak-Verluste nach der Ausbringung von Rinder- und Schweinegülle mit Breitverteiler und Schleppschlauch bei unterschiedlichen Temperaturen.....	71
Tab. 3.18: Emissionsminderungsprozente bei der Ausbringung von Rindergülle.....	72
Tab. 3.19: Emissionsminderungsprozente bei der Ausbringung von Schweinegülle.....	73
Tab. 3.20: Mögliche Emissionsminderungen bei der Ausbringung von Jauche.....	74
Tab. 3.21: Kosten der eigenmechanisierten Gülleausbringung.....	75
Tab. 3.22: Kosten der überbetrieblichen Gülleausbringung .....	76
Tab. 3.23: Minderungskosten pro kg reduziertes NH <sub>3</sub> bei der Ausbringung von Rinder- und Schweinegülle auf Ackerland.....	77

Tab. 3.24: Emissionsminderungsprozente bei der Ausbringung von Tiefstall-/Stapelmist und Geflügeltrockenkot.....	78
Tab. 3.25: Kosten der Festmistausbringung .....	79
Tab. 3.26: Emissionsfaktoren für die Ausbringung von Mineraldünger .....	80

## Kapitel 4

Tab. 4.1: Fütterung, Leistung und Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere und Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger – eine Übersicht über die durchgeführten und wünschenswerten Differenzierungen im Programm GAS-EM .....	85
Tab. 4.2: Mit GAS-EM berechnete nationale Emissionen von Spurengasen aus der Landwirtschaft, Stand Februar 2001 .....	86
Tab. 4.3: Datengrundlagen für die Berechnung der Ex-post-Situation .....	98
Tab. 4.4: Entwicklung der Stallhaltungs- und Weideverfahren (Durchschnitt für Deutschland, gewichtet nach Stallplätzen) in Prozentanteilen .....	99
Tab. 4.5: Entwicklung der Güllelagerungs- und Ausbringungsverfahren (Durchschnitt für Deutschland, gewichtet nach Wirtschaftsdüngeraufkommen) in Prozentanteilen.....	100
Tab. 4.6: Verteilung der NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung in Deutschland 1990 (in 1000 t NH <sub>3</sub> , berechnet mit variablen Ausbringungstemperaturen).....	102
Tab. 4.7: Verteilung der NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung in Deutschland 1995 (in 1000 t NH <sub>3</sub> , berechnet mit variablen Ausbringungstemperaturen).....	103
Tab. 4.8: Verteilung der NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung in Deutschland 1999 (in 1000 t NH <sub>3</sub> , berechnet mit variablen Ausbringungstemperaturen).....	104
Tab. 4.9: Verteilung der NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung nach Emissionsbereichen innerhalb der jeweiligen Tiergruppe .....	105
Tab. 4.10: Vergleich der Schätzung von NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung: Ergebnisse aus GAS_EM und RAUMIS für das Jahr 1996 .....	113
Tab. 4.11: Variationsrechnungen mit der Änderung von Annahmen gegenüber der Ausgangssituation für das Jahr 1999 sowie die jeweilige Wirkung auf das Ergebnis der Emissionsschätzung (Abweichungen vom Basisjahr 1999) .....	118

## Kapitel 5

Tab. 5.1: Ammoniak-Minderungsmaßnahmen nach Tierarten und Kategorien .....	120
Tab. 5.2: Definition einzelner Ammoniak-Minderungsmaßnahmen für Berechnungen im Modell RAUMIS .....	121
Tab. 5.3: Kosten von Ammoniak-Minderungsmaßnahmen für die Berechnungen im Modell RAUMIS bei einem Zinsfuß von 6 % und 20 DM/Arbeitsstunde, Werte ohne Mehrwertsteuer .....	123

Tab. 5.4:	Minderungspotential und Kostenwirksamkeit ausgewählter Ammoniak-Minderungsmaßnahmen, verglichen mit der Ausgangssituation 1999 .....	127
Tab. 5.5:	Rangfolgen der Minderungspotentiale und der Kostenwirksamkeit ausgewählter Ammoniak-Minderungsmaßnahmen .....	128
Tab. 5.6:	Emissionsminderung und deren Kosten für einen Mastschweinestall mit 1000 Plätzen .....	130

## Kapitel 6

Tab. 6.1:	Einschätzungen über die Entwicklung der Tierzahlen in Deutschland in der Arbeitsgruppe "Agrarstruktur und ökonomische Bewertung" .....	134
Tab. 6.2:	Entwicklung der Tierzahlen in Deutschland für Berechnungen im Modell RAUMIS .....	134
Tab. 6.3:	Schätzung der Bestandsklassenentwicklung bei Milchkühen (alte Länder) .....	135
Tab. 6.4:	Bestandsklassenentwicklung bei Sauen (alte Länder) .....	135
Tab. 6.5:	Bestandsklassenentwicklung bei Mastschweinen über 50 Kilo (alte Länder) .....	135
Tab. 6.6:	Veränderung der Ackerflächennutzung zwischen 1990 und 1999 sowie Entwicklung in der Projektion für das Jahr 2010 .....	136
Tab. 6.7:	Verteilung der NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung in Deutschland 1990, 1999 und für Projektionen im Jahr 2010 (in 1000 t NH <sub>3</sub> , berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung) .....	140
Tab. 6.8:	Verteilung der regionalen NH <sub>3</sub> -Emissionsdichte aus der Tierhaltung in Deutschland 1990, 1995 und 1999 sowie für Projektionen im Jahr 2010 nach Modellkreisen (Emissionen berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung) ....	141
Tab. 6.9:	Zusammensetzung der berechneten Szenarien für das Zieljahr 2010 aus einzelnen Emissionsminderungsmaßnahmen .....	145
Tab. 6.10	Wirkung der Umsetzung der Emissionsminderungs-Szenarien 1 bis 4 gegenüber der Baseline-Projektion 2010_T2000 (Emissionen berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung) .....	148
Tab. 6.11	Verteilung der regionalen NH <sub>3</sub> -Emissionsdichte aus der Tierhaltung in Deutschland 1990 und für unterschiedliche Szenarien im Jahr 2010 nach Modellkreisen (Emissionen berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung) ....	149

## Kapitel 7

Tab. 7.1:	Faktoren für die direkte, stoffwechselbedingte Methan-Emission (nach Ahlgrimm und Gädeken 1990; Heyer 1994) .....	150
Tab. 7.2:	Stoffwechselbedingte Methan-Freisetzung einer Milchkuh in Abhängigkeit von der Lebendmasse und der Milchleistung (Kirchgessner et al. 1991a) .....	151
Tab. 7.3:	Methan-Bildungspotential aus den Exkrementen (nach Gibbs et al. 1989, Ahlgrimm und Gädeken 1990, Bouwman 1991, Heyer 1994) .....	151

Tab. 7.4:	Methan-Konversionsfaktoren (Heyer 1994) .....	151
Tab. 7.5:	Emissionsfaktoren $\text{NH}_3$ und Orientierungswerte für $\text{CH}_4$ und $\text{N}_2\text{O}$ aus der Milchviehhaltung.....	152
Tab. 7.6:	Emissionsfaktoren für $\text{NH}_3$ und Orientierungswerte für $\text{CH}_4$ und $\text{N}_2\text{O}$ aus der Mastschweinehaltung .....	152
Tab. 7.7:	Maßnahmen zur Minderung der $\text{NH}_3$ -Emissionen und ihre Auswirkungen auf die Emission von $\text{N}_2\text{O}$ und $\text{CH}_4$ .....	154

## **Kapitel 8**

Tab. 8.1:	Politikinstrumente der Bundesländer zur Reduzierung von Ammoniak-Emissionen 1990-1999 (Angaben der Landwirtschaftsministerien der Länder) .....	155
Tab. 8.2:	Bewertung von Kombinationen aus politischen Instrumenten und technischen Ansatzstellen (Mittelwert aus 5 Antworten) .....	164
Tab. 8.3:	Vorschläge für politische Maßnahmen zur Ammoniak-Emissionsminderung .....	168

## **Kapitel 9**

Tab. 9.1a:	Künftig zu erhebende, statistische Merkmale in der Tierhaltung und im Wirtschaftsdüngermanagement.....	173
Tab. 9.1b:	Prioritätenliste der zu erhebenden, statistische Merkmale .....	176
Tab. 9.2:	Künftiger Forschungs-, Entwicklungs- und Umsetzungsbedarf im Bereich der Haltungsverfahren, Fütterung, Lagerung, Behandlung und Ausbringung.....	178

**Abbildungen****Kapitel 1**

Abb. 1.1:	Einträge reaktiver Stickstoff-Verbindungen in ein Wald- und ein Grünland- ökosystem (Daten aus Zimmerling et al. 2000 und Hesterberg et al. 1996) .....	3
Abb. 1.2:	Protonen-Einträge mit Stickstoff- und Schwefel-Verbindungen in ein Wald- ökosystem (Daten aus Zimmerling et al. 2000).....	3
Abb. 1.3:	Häufigkeitsverteilung der Depositionsgeschwindigkeiten am Tage für NH <sub>4</sub> -Aerosole über einem Kiefernwald. (Datenbasis 118 Tage, aus Zimmerling et al. 2000).....	6

**Kapitel 2**

Abb. 2.1:	Modell zur Berechnung der Stickstoffdynamik der Ausscheidungen in der Tierhaltung. Schwarze Pfeile geben die N-Flüsse wieder; Rechtecke veranschaulichen Vorräte; schräg nach oben gerichtete Pfeile bezeichnen Emissionsorte .....	30
Abb. 2.2:	Schema des Ablaufs der Datenverarbeitung während der Berechnung von Emissionsinventaren .....	31
Abb. 2.3:	Datengrundlagen und Datenverarbeitung im Modell RAUMIS .....	34
Abb. 2.4:	Bedeutung von Haltungssystemen mit Stallmist in Abhängigkeit von der Bestandsgrößenklasse .....	38
Abb. 2.5:	Vergleich der Tagesmittel (2m Höhe), Bodentemperaturmittel und Boden- temperaturmaxima für 20 Wetterstationen .....	45

**Kapitel 3**

Abb. 3.1:	Rinnenbodenelemente mit Gülleschieber im Laufgang eines Liegeboxenstalles (Swierstra und Braam 1999).....	52
-----------	--	----

**Kapitel 4**

Abb. 4.1:	Entwicklung der Höhe der NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung in Deutschland (in 1000 t NH <sub>3</sub> , berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung).....	102
Abb. 4.2:	Emissionen in kg NH <sub>3</sub> je Hektar Kreisfläche im Jahr 1995: Zusammensetzung der Emissionen nach RAUMIS-Regionen (Modellkreisen) .....	107

## Kapitel 6

Abb. 6.1:	Entwicklung der Höhe und Zusammensetzung der NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung in den Jahren 1990, 1995, 1999 sowie Projektionen für das Zieljahr 2010 (berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung).....	137
Abb. 6.2:	Entwicklung der Höhe und Zusammensetzung der NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung für unterschiedliche Projektionen im Zieljahr 2010 (berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung) .....	138
Abb. 6.3:	Entwicklung der Höhe und Zusammensetzung der NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung für Szenarien im Zieljahr 2010 (berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung).....	147
Abb. 6.4:	Entwicklung der NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung in kg NH <sub>3</sub> je Hektar Kreisfläche (gesamte Fläche, nicht LF; berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung).....	149

## Kapitel 8

Abb. 8.1:	Förderung einer Erhöhung der Güllelagerkapazität im Rahmen von Ländermaßnahmen und der einzelbetrieblichen Investitionsförderung (Gesamtzuschuss in DM/m <sup>3</sup> zusätzlicher Güllelagerraum).....	156
-----------	---	-----

## Übersichten

### Kapitel 2

Übersicht 2.1:	Ablaufschema des Projektes "Landwirtschaftliche Emissionen" .....	14
----------------	---	----

### Kapitel 3

Übersicht 3.1:	Übersicht über Minderungstechniken, deren Wirkungen und Anwendungsbeschränkungen bei der Flüssigmistausbringung .....	70
----------------	---	----



## Kapitel 2

Karte 2.1: Modellregionen zur Übertragung der Strukturen in der Tierhaltung.....	22
--	----

## Kapitel 4

Karte 4.1: N-Ausscheidungen von Milchkühen. Angaben in $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{N}$ . Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit dem detaillierten Verfahren unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc unter Berücksichtigung von Fütterung, Milchleistung, Weidegang, Stallhaltung und Wirtschaftsdüngermanagement. (Stand Februar 2001) .....	87
Karte 4.2: Emissionsfaktoren für Milchkühe – partieller Emissionsfaktor „Weidegang“. Angaben in $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ . Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit dem detaillierten Verfahren unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc unter Berücksichtigung der Dauer des täglichen Weidegangs und der Weideperiode. (Stand Februar 2001) .....	88
Karte 4.3: Emissionsfaktoren für Milchkühe – partieller Emissionsfaktor „Stall“. Angaben in $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ . Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit dem detaillierten Verfahren unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc unter Berücksichtigung von Aufstellungsverfahren und Dauer des Aufenthalts im Stall. (Stand Februar 2001) .....	89
Karte 4.4: Emissionsfaktoren für Milchkühe – partieller Emissionsfaktor „Lagerung“. Angaben in $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ . Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit dem detaillierten Verfahren unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc unter Berücksichtigung aller bekannten Lagerungsverfahren für Gülle- und Festmist. (Stand Februar 2001) .....	90
Karte 4.5: Emissionsfaktoren für Milchkühe – partieller Emissionsfaktor „Ausbringung“. Angaben in $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ . Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit dem detaillierten Verfahren unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc unter Berücksichtigung sämtlicher Ausbringungsverfahren und Einarbeitungszeiten (Stand Februar 2001) .....	91
Karte 4.6: Gesamt- $\text{NH}_3$ -Emissionsfaktoren für Milchkühe. Angaben in $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ . Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet als Summe der partiellen Emissionsfaktoren „Weidegang“, „Stall“, „Lagerung“ und „Ausbringung“ unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc (Stand Februar 2001).....	92
Karte 4.7: $\text{NH}_3$ -Emissionsdichten für Milchkuh-Haltung. Angaben in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ , bezogen auf Kreisflächen. Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit GAS-EM wie für Karte 4.6 .....	93
Karte 4.8: $\text{NH}_3$ -Emissionsdichten für die Rinder-Haltung insgesamt. Angaben in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ , bezogen auf Kreisflächen. Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit GAS-EM für Milchkühe, Kälber, weibliche und männliche Mastrinder und Mutterkühe .....	94

Karte 4.9: $\text{NH}_3$ -Emissionsdichten für die Schweine-Haltung insgesamt. Angaben in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ , bezogen auf Kreisflächen. Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit GAS-EM für Mastschweine und Sauen .....	95
Karte 4.10: $\text{NH}_3$ -Emissionsdichten für Geflügel-Haltung insgesamt. Angaben in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ , bezogen auf Kreisflächen. Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit GAS-EM für Hühner (Legehennen, Junghennen, Masthähnchen und Masthühnchen), Gänse, Enten und Puten .....	96
Karte 4.11: $\text{NH}_3$ -Emissionsdichten für die Tier-Haltung insgesamt. Angaben in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ , bezogen auf Kreisflächen. Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit GAS-EM für Rinder, Schweine, Schafe, Pferde und Geflügel .....	97
Karte 4.12: Berechnete Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in $\text{kg NH}_3/\text{ha}$ Kreisfläche im Jahr 1990 (gesamte Kreisfläche, nicht LF) .....	109
Karte 4.13: Berechnete Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in $\text{kg NH}_3/\text{ha}$ Kreisfläche im Jahr 1995 (gesamte Kreisfläche, nicht LF) .....	110
Karte 4.14: Berechnete Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in $\text{kg NH}_3/\text{ha}$ Kreisfläche im Jahr 1999 (gesamte Kreisfläche, nicht LF) .....	111

## Kapitel 6

Karte 6.1: Berechnete Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in $\text{kg NH}_3/\text{ha}$ Kreisfläche: Baseline-Projektion für das Jahr 2010, hohe Tierbestände (gesamte Kreisfläche, nicht LF) .....	142
Karte 6.2: Berechnete Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in $\text{kg NH}_3/\text{ha}$ Kreisfläche: Baseline-Projektion für das Jahr 2010, geringe Tierbestände (gesamte Kreisfläche, nicht LF) .....	143

## Kapitel 8

Karte 8.1: Förderfläche nach VO (EWG) 2078/92 für umweltschonende und bodennahe Gülleausbringung in Bayern im Jahr 1998 .....	158
---	-----

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergründe und Maßnahmen zur Erfassung und zur Minderung von Emissionen aus der Landwirtschaft

Emissionen aus der Landwirtschaft sind in jüngerer Zeit vermehrt zum Gegenstand des öffentlichen Interesses geworden, weil sie nach ihrem atmosphärischem Transport zu Stoffeinträgen in andere Ökosysteme führen, in denen sie versauernd und eutrophierend wirken und unerwünschte Einflüsse auf den Stoffhaushalt und die Stabilität der Systeme ausüben. Dies trifft vor allem auf die Ammoniak-Emissionen zu. Aus landwirtschaftlichen Produktionsverfahren werden darüber hinaus Stoffe emittiert, die die Chemie der Atmosphäre in unerwünschter Weise verändern. So verändern Methan-Emissionen die Dynamik von bodennahem Ozon, Ammoniak-Emissionen die Bildung von Aerosolen. Methan und Lachgas greifen in unerwünschter Weise in den Wärmehaushalt der Atmosphäre und damit in den globalen Wärmehaushalt ein. Lachgas trägt außerdem zur Verringerung der Konzentrationen von stratosphärischem Ozon bei.

Verfolgt man die Stoffströme, die zur Versauerung und Eutrophierung sowie zur Veränderung der Chemie und der Physik der Atmosphäre führen, über ihren Transport und die chemischen Reaktionen in die Atmosphäre (Transmission) zurück, so lassen sie sich in Mitteleuropa praktisch vollständig und direkt auf menschliche Aktivitäten zurückführen: Sie alle sind unerwünschte (stoffliche) Nebenprodukte an sich erwünschter (stofflicher und nicht stofflicher) Hauptprodukte, welche die Lebensqualität in Mitteleuropa entscheidend prägen:

Aus Tabelle 1.1 geht beispielhaft hervor, welche Hauptprodukte mit welchen Nebenprodukten verknüpft sind.

Tab. 1.1: Erwünschte Hauptprodukte, unerwünschte Nebenprodukte und deren Wirkungen auf Ökosysteme – Beispiele

<b>Erwünschtes Hauptprodukt</b>	<b>Unerwünschtes Nebenprodukt</b>	<b>Unerwünschter Effekt</b>
Wärme	Emission von CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Staub	Treibhauseffekt, Versauerung, Eutrophierung
Hochwertige Energie (Elekttrizität)	Emission von CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	Treibhauseffekt, Versauerung, Eutrophierung
Mobilität (Individualverkehr)	Emission von CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Kohlenwasserstoffen, Ruß	Treibhauseffekt, bodennahes O <sub>3</sub> , Eutrophierung, Versauerung
Proteinreiche Nahrung	Emission von CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O	Treibhauseffekt, bodennahes O <sub>3</sub> , Eutrophierung, Versauerung, stratosphärisches O <sub>3</sub>
Gute, preiswerte und normgerechte Grundnahrungsmittel	Emission von NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, NO und flüchtigen organischen Verbindungen	Eutrophierung, Versauerung, stratosphärisches O <sub>3</sub> , Treibhauseffekt

### 1.1.1 Versauerung und Eutrophierung – Überschreitung kritischer Belastungsgrenzen

Stoffeinträge aus der Atmosphäre (atmosphärische Depositionen) sind für natürliche und naturnahe Ökosysteme entscheidende Glieder ihrer Stoffbilanz. Dies trifft neben Wasser und Kohlenstoffdioxid in besonderer Weise für die Einträge von reaktiven Spezies<sup>1</sup> von Stickstoff (N) und Schwefel (S) und die mit ihnen transportierten Protonen (H, in Säuren wie Salpetersäure) oder Protonenbildner (mit direkten Säurebildnern wie Schwefeldioxid und indirekten Säurebildnern wie Ammoniak) zu. Durch menschliche Einflüsse hat die Menge der über die Atmosphäre in Ökosysteme gelangenden Stoffe in den vergangenen Jahrzehnten so zugenommen, dass viele dieser Ökosysteme in Deutschland und weltweit unerwünschte Entwicklungen durchlaufen: Ihre Struktur und ihre typischen Stoff- und Energieumsätze ändern sich stärker, als es der sonst beobachteten und als natürlich angesehenen Entwicklung entspricht.

In der Vergangenheit wurde ein Konzept entwickelt, das versucht, solche Änderungen als Folge der Überschreitung von als kritisch angesehenen Eintrags-Schwellen, sog. *critical loads*<sup>2</sup>, zu deuten. Wie aus Abbildung 1.1 mit Messwerten<sup>3</sup> für einen Forst bzw. ein Grünland beispielhaft hervorgeht, können diese Überschreitungen erheblich sein:

Für die Schorfheide bestimmten Zimmerling et al. (2000) atmosphärische Einträge (Depositionen<sup>4</sup>) von ca. 45 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> reaktives N, 50 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> S und überschlägig 3 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> H. Die *critical loads* für die Schorfheide liegen bei etwa 15 bis 20 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> N für eutrophierendes N (Werner et al. 1999) und bei 0,5 bis 1 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> H (Becker et al. 1999) aus versauernd wirkenden N und S deutlich übersteigen. Für das betrachtete Grünland in der Schweiz (Hesterberg et al. 1996) ergeben sich ähnliche Verhältnisse. In beiden Fällen wird beobachtet, dass der Anteil der trockenen Deposition von Gasen und Aerosolen den der Bulk-Deposition<sup>5</sup> bei weitem übersteigt. Der dunkle Anteil der Säulen bei den N-Depositionen in Abbildung 1.1 und 1.2 ist sog. "reduzierter Stickstoff" und entstammt praktisch vollständig der Landwirtschaft. Man kann in erster Näherung davon ausgehen, dass dieser Anteil Ergebnis deutscher Emissionen ist.

---

<sup>1</sup> Als Spezies eines chemischen Elements werden die Verbindungen, in denen es vorkommt, bezeichnet. Reaktive Spezies sind solche, die im betrachteten Umfeld chemischen Reaktionen zugänglich sind (NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>); inerte Spezies reagieren nicht oder nur sehr langsam (N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O).

<sup>2</sup> Die in ein System eintretenden Stoffmengen, bei deren Unterschreitung nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand keine signifikanten, d.h. Struktur und Funktion verändernden Wirkungen auf das System bzw. auf definierte empfindliche Subsysteme zu erwarten sind, werden als kritische Belastungen (*critical loads*) bezeichnet. *Critical loads* für Ökosysteme werden vor allem für versauernd und eutrophierend wirkende Spezies betrachtet und bestimmt. Vgl. hierzu Hornung (1993), Umweltbundesamt (1998), zu den Größenordnungen der *critical loads* für eutrophierendes N z.B. Hornung et al. (1995), Werner (1999).

<sup>3</sup> Messungen, die alle an der Deposition beteiligten reaktiven N- bzw. S-Spezies umfassen, sind äußerst selten. Für Deutschland sind außer den Messungen in der Schorfheide keine weiteren Messungen von Gesamteinträgen in Waldsysteme bekannt.

<sup>4</sup> Als Deposition im eigentlichen Sinn wird der Vorgang des Stoffdurchtritts aus der Atmosphäre durch die Hüllfläche des betrachteten Systems bezeichnet (Norm VDI 2450). Es ist jedoch üblich, auch die Massenströme (Depositionsstrom: Masse pro Zeit) und die Massenstromdichten (Depositionsstromdichte: Masse pro Zeit und Fläche) als Deposition zu bezeichnen.

<sup>5</sup> Als Bulk-Deposition wird die Summe der Depositionen mit nassen und trockenen sedimentierenden Teilchen bezeichnet.

Es wird davon ausgegangen, daß im Jahre 1993 bei etwa 90% der deutschen Wald-Ökosysteme die kritischen Belastungswerte für die Versauerung überschritten waren, für die Eutrophierung an 100 % (Nagel 1999). Das Problem ist klar zu erkennen und drängend.

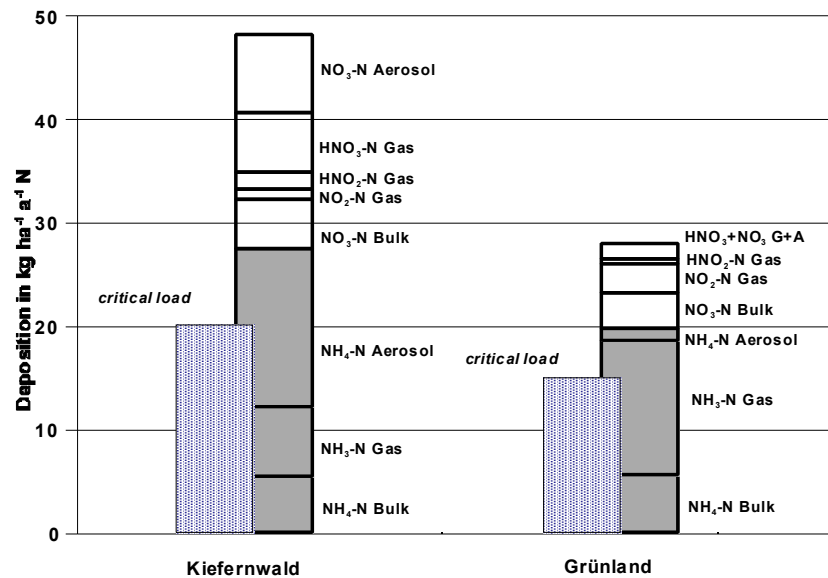


Abb. 1.1: Einträge reaktiver Stickstoff-Verbindungen in ein Wald- und ein Grünlandökosystem (Daten aus Zimmerling et al. 2000 und aus Hesterberg et al. 1996) mit den entsprechenden *Critical loads*. Einträge, deren Quellen in der Landwirtschaft sind, sind dunkel hervorgehoben.

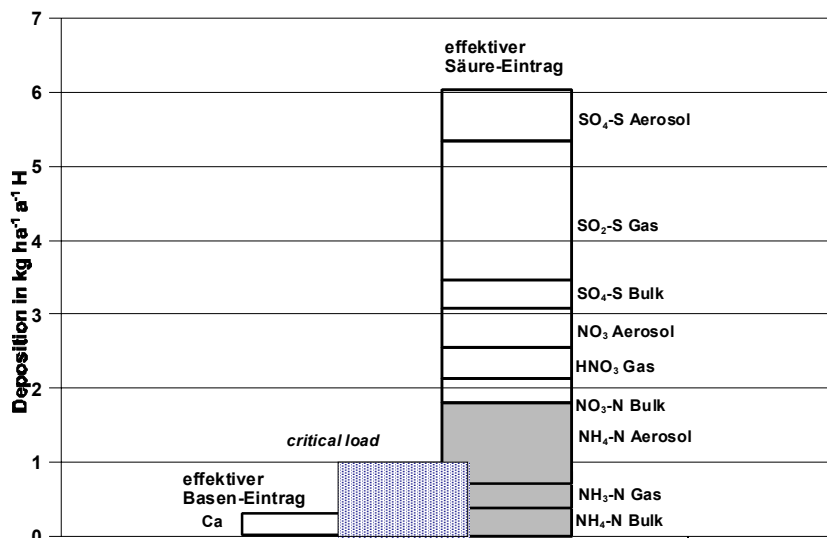


Abb. 1.2: Protonen-Einträge mit Stickstoff- und Schwefel-Verbindungen in ein Waldökosystem (Daten aus Zimmerling et al. 2000) mit den entsprechenden *critical loads*. Einträge, deren Quellen in der Landwirtschaft zu suchen sind, sind dunkel hervorgehoben.

Will man, dass die in den Beispielen genannten Depositionen versauernd und eutrophierend wirkender Luftinhaltsstoffe die critical loads unterschreiten, so muss man die zu diesen Depositionen führenden Emissionen insgesamt größenordnungsmäßig halbieren. Gleichzeitig wird erkennbar, dass dies Änderungen der Produktionsverfahren oder der Produktionsintensität nach sich ziehen muss, wenn die Gesellschaft auf die Hauptprodukte nicht verzichten will. In der Regel sind Änderungen der Produktionsverfahren mit Kosten verbunden. Jede Maßnahme zur Verringerung der Emissionen, die zu einer Verringerung der Belastung von Ökosystemen durch Versauerung oder Eutrophierung führt, muss deshalb hinsichtlich der (technischen) Effizienz und der (wirtschaftlichen) Aufwendungen der Einzelmaßnahmen optimiert werden.

Hierzu muss man

1. die unerwünschte Wirkung selbst hinreichend genau beschreiben können:  
Wo sind welche Systeme in welchem Ausmaß belastet?  
Wie groß sind die critical loads?  
Ist das "*critical-loads*"-Konzept ein angemessenes Konzept?
2. die die Wirkung auslösenden Depositionsvorgänge und die ihnen vorgelagerten Transmissionsvorgänge hinreichend genau quantifizieren (messen, modellieren) können:  
Welche Beziehungen bestehen zwischen den Konzentrationen in der Atmosphäre, den Austauschigenschaften der Atmosphäre, den Senkeneigenschaften des betrachteten Systems und den Stoffflüssen zwischen Atmosphäre und System?  
Welche Größen beeinflussen den Transport zwischen dem Wirkort und dem Entstehungsort eines Stoffflusses in der Atmosphäre?
3. die Emissionen selbst hinreichend genau quantifizieren und ihre Quellen charakterisieren können
4. die Maßnahmen zur Minderung von Emissionen identifizieren und hinsichtlich ihrer Effizienz quantifizieren können,
5. die Kosten der Maßnahmen bestimmen, die zu Änderungen der Emissionen führen.

### 1.1.2 Das "*critical-loads*"-Konzept

Ökosysteme sind hinsichtlich der Stoff- und Energieflüsse offene Systeme. Die ins System ein tretenden, die im System wirksamen und die aus dem System austretenden Ströme sind für das jeweilige System typisch: Ändern sich die Flüsse, so ändert sich das System. Innerhalb bestimmter Grenzen ist das System in der Lage, durch Veränderung interner Teilströme die Flüsse aus dem System denen in das System anzugleichen. Hierzu zählen vor allem Veränderungen von Teilpopulationen innerhalb des Systems. Außerhalb dieser Grenzen fallen vorhandene Populationen aus, werden neue Populationen konkurrenzfähig oder die Vorräte im System verändert. Das System hat also zunächst (obere und untere) kritische Stoff- und Energieumsätze; innerhalb dieser Schwellen reagiert das System elastisch (vgl. auch Dämmgen et al. 1993).

Das "*critical-loads*"-Konzept untersucht Systeme im Fließgleichgewicht und formuliert die für sie beobachteten oder modellierten kritischen (oberen) Einträge. Durch die Überschreitung der kritischen Einträge in den vergangenen Jahrzehnten sind aber bereits unerwünschte Veränderungen in den betrachteten Systeme eingetreten; sie sollen jetzt durch eine geeignete Luftreinhaltepolitik rückgängig gemacht werden (etwa die Vergrasung der Heiden). Sofern die Systeme keine Stoffvorräte „angelegt“ haben, werden die internen Umsatzraten schnell den Flussraten ins System folgen, soweit dies durch die Populationsdynamik innerhalb des Systems möglich ist. Haben jedoch die Systeme in merklichem Umfang Stoffvorräte abgebaut (etwa Puffer bei Protonen-Einträgen) oder aufgebaut (etwa N-Vorräte in der Krautschicht von Wäldern), so können die ursprünglichen Systeme nur wiederhergestellt werden, indem man die aktuellen Eintragsraten hinreichend lange unter die kritischen Eintragsraten absenkt.

Die aus dem "*critical-loads*"-Konzept abgeleiteten Maßnahmen schützen also zunächst nur Systeme, die noch in ihren Umsätzen und Funktionen intakt sind. Eine Wiederherstellung bereits geschädigter Systeme lässt sich nicht oder nur sehr langsam erreichen. Es ist also damit zu rechnen, daß die Gesellschaft sich dieser Tatsache bewusst werden wird und niedrigere Depositionsraten anstreben wird, als sie jetzt Grundlage der Luftreinhaltepolitik sind. Die Formulierung von Zielen und Wegen zur Minderung von Emissionen muß dies präventiv bedenken. Wir gehen deshalb davon aus, dass Emissionsgrenzen, die aus Belastungen von Ökosystemen durch Versauerung oder Eutrophierung herrühren, in Zukunft eher niedriger ausfallen werden als die heute diskutierten.

Nichtsdestoweniger bilden critical loads derzeit die wissenschaftliche Grundlage für die Ableitung von Emissionsminderungszielen im Rahmen des UN/ECE-Multikomponenten-Protokolls sowie für die Nationalen Emissionsobergrenzen (national emission ceilings).

### **1.1.3 Die Güte der gegenwärtig für die Ableitung der Emissionen im Rahmen des Multikomponenten-Protokolls und zur Festlegung nationaler Emissionsobergrenzen verwendeten Depositions- und Transmissionsmodellierung**

Zu praktischen Ansätzen bei der Emissionsminderung gelangt man, wenn man von den Depositionen über die Transmission<sup>6</sup> auf die möglichen Emissionen zurückrechnet. Jeder deponierten Spezies werden dann die möglichen Quellen zugeordnet. Anschließend muss der "Kuchen" der Quellen sinnvoll so aufgeteilt werden, wie wirtschaftliche und gesellschaftliche Bewertungen dies zulassen oder ermöglichen.

Die Transmissionsmodelle, die hierzu in der Politikberatung in Europa angewendet wurden bzw. werden, sind die Modelle ROOT 150 bzw. ROOT 50, die bei Barrett und Berge (1996) dokumentiert sind. Eingangsgrößen sind deshalb neben den das Transportmodell treibenden Trajektorienrechnungen ein Emissionskataster, ein Reaktionsschema mit Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten, Depositionsgeschwindigkeiten, Scavenging-(Auswaschungs-)faktoren und Niederschlagsmengen.

---

<sup>6</sup>Die Transmission umfasst die Vorgänge während des atmosphärischen Transports zwischen Emission und Deposition einschließlich der chemischen Reaktionen.

Das Modell ROOT 150 gibt dabei bei der für Wälder wichtigsten Eintragsart, der Deposition von  $\text{NH}_4\text{-N}$  aus Aerosolen, den Stand des Wissens von 1990 wieder. Dies trifft insbesondere für die verwendeten Depositionsgeschwindigkeiten<sup>7</sup> zu (vgl. auch Abb. 1.3). Für die relevanten Stäube werden im Modell stets  $0,1 \text{ cm s}^{-1}$  angesetzt. Insbesondere für rauhe und hohe Vegetation wie Wälder trifft dies schon größenordnungsmäßig nicht zu.

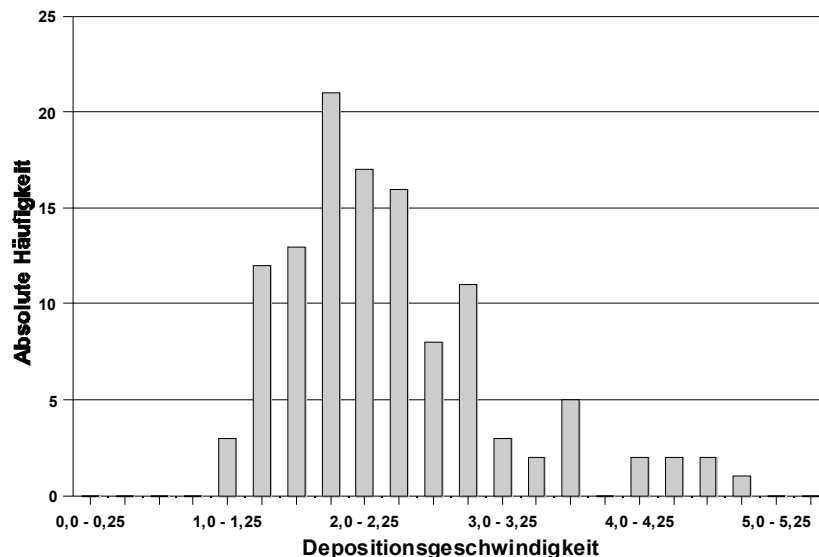


Abb. 1.3: Häufigkeitsverteilung der Depositionsgeschwindigkeiten am Tage für  $\text{NH}_4$ -Aerosole über einem Kiefernwald. Angaben in  $\text{cm s}^{-1}$ . (Datenbasis 118 Tage, aus Zimmerling et al. 2000)

In Barrett und Berge (1996) werden die verwendeten Depositionsgeschwindigkeiten für Gase und Stäube zusammengestellt. Während die Depositionsgeschwindigkeiten für Gase nach gängigen Verfahren modelliert werden, wird für Stäube einheitlich und unabhängig von der Höhe (1,0 m oder 50 m) unter Bezug auf Whelpdale und Shaw (1974)  $v_D = 0,1 \text{ cm s}^{-1}$  angenommen. Dies steht im Widerspruch zu neueren Messungen, wie sie etwa für Nadelwälder in Zimmerling et al. (2000) zusammengestellt sind:

Während für "acid particles" bei Allegrini und de Santis (1989) in einem Review noch ein mittleres  $v_D$  von etwa  $0,1 \text{ cm s}^{-1}$  beschrieben wird und auch von Nicholson und Davies (1987)  $0,1 \text{ cm s}^{-1}$  angegeben werden, ergaben Messungen über landwirtschaftlichen Nutzflächen bei Duyzer et al. (1988)  $0,2 \text{ cm s}^{-1}$ , bei Harrison und Allen (1991)  $0,15 \text{ cm s}^{-1}$  und bei Zimmerling (1994)  $0,25$  bis  $0,45 \text{ cm s}^{-1}$  (nur Vegetationsperiode). Über Wald dagegen wurden erheblich höhere Depositionsgeschwindigkeiten beobachtet. Wyers und Duyzer (1997) geben für stabile Schichtungen nahezu  $0 \text{ cm s}^{-1}$  an, für instabile  $4 \text{ cm s}^{-1}$  und im Mittel  $0,7 \text{ cm s}^{-1}$  an. Dies liegt im gleichen Bereich wie die Angabe von  $v_D = 0,6 \text{ cm s}^{-1}$  bei Hicks et al. (1989). Für  $\text{NO}_3\text{-N}$  nehmen Wyers und Duyzer (1997) über Wald eine mittlere Depositionsgeschwindigkeit von  $1,1 \text{ cm s}^{-1}$  an. Auch die bei Constantin (1993) oder Peters und Bruckner-Schatt (1995) bestimmten und zitierten Depositionsgeschwindigkeiten für Partikel liegen im Regelfall mindestens eine Größenordnung höher als die im Modell angesetzt.

<sup>7</sup>Als Depositionsgeschwindigkeit  $v_D$  wird das Verhältnis aus dem mittleren vertikalen Fluss einer Spezies und ihrer atmosphärischen Konzentration in einer bestimmten Höhe bezeichnet.  $v_D$  ist höhenabhängig.



Die Annahme von  $v_D = 0,1 \text{ cm s}^{-1}$  führt demnach gegenüber der Wirklichkeit zu stark verringerten Depositionen, zu zu hohen Konzentrationen der Aerosole und zu zu großen mittleren horizontalen Transportwegen. Möglicherweise sind die in Berge et al. (1996) für  $\text{SO}_4\text{-S}$  beschriebenen gegenüber den Messungen erhöhten Konzentrationen im Modell so zu erklären.

Damit werden Depositionen insgesamt unterschätzt und der Ferntransportanteil insgesamt überschätzt.

Bei der Abschätzung der Deposition von Ammoniak ist der Fehler eher umgekehrt: Man weiß, dass der vertikale atmosphärische Fluss von Ammoniak nicht eine Funktion seiner Konzentration in der freien Atmosphäre ist, sondern eine der Konzentrationsdifferenz zwischen der Konzentration in der turbulenten Atmosphäre und der Luft in den Spaltöffnungen der Pflanzen (sog. Kompensationspunkt). Diese ist oft von gleicher Größenordnung wie die der Atmosphäre. Flüsse von Ammoniak sind so sowohl in das betrachtete Ökosystem (Konzentration > Kompensationspunkt) als auch aus dem System möglich (Konzentration < Kompensationspunkt). Der Kompensationspunkt ist eine Funktion der Pflanzenart, der Stickstoff-Versorgung der Pflanze und der Temperatur. Berücksichtigt man den Kompensationspunkt bei der Modellierung von Flüssen nicht, so wird die Deposition überschätzt. Der Vergleich der Tabellen 1.2 und 1.3 macht deutlich, dass diese Bedenken sich durch Messungen bestätigen lassen: Wegen der unterschätzten Flüsse werden die Konzentrationen von Aerosolen tendenziell überschätzt.

In jedem Fall ist das sich ergebende Bild für Konzentrationen und Depositionen in sich nicht konsistent. Dies kann aber neben den offensichtlichen Modellierungsfehlern auch an unzutreffenden Annahmen über die den Rechnung zugrundeliegenden Emissionsdaten liegen.

Die Prüfung der Übereinstimmung von modellierten und gemessenen Daten ist in Europa nur anhand weniger Messstellen und weniger Spezies möglich. So fehlen in den bei Berge et al. (1996) zum Vergleich herangezogenen Messstellen die Konzentrationen und Flüsse der gasförmigen und der Aerosol-Spezies völlig. Dies hat seine Ursache darin, dass die Messungen zum einen aufwendig bis sehr aufwendig und schlecht automatisierbar sind, dass sie zum anderen insbesondere bei Ammoniak nur sehr bedingt repräsentativ durchführbar sind. Für N- und S-Spezies in Aerosolen gibt es zur Zeit keine flächendeckenden Monitoring-Programme, für Ammoniak befinden sich erste flächenrepräsentative Messsysteme im Betrieb bzw. im Aufbau.

Tab. 1.2: Vergleich modellierter und gemessener *Konzentrationen* reaktiver Stickstoff-Spezies für Nordost-Brandenburg (Fläche des Vergleichsgebietes  $2500 \text{ km}^2$ )

Spezies	Konzentrationen in $\mu\text{g m}^{-3}$	
	modelliert (Barrett und Berge 1996)	beobachtet (Zimmerling et al. 1999)
$\text{NH}_3\text{-N}$ (Gas)	1,0	1,0
$\text{NH}_4\text{-N}$ (Aerosol)	2,0	1,8
$\text{HNO}_3\text{-N}$ (Gas)	0,1	0,2
$\text{NO}_3\text{-N}$ (Aerosol)	2,5	0,7

Tab. 1.3: Vergleich von modellierten und gemessenen **Depositionen** reaktiver Stickstoff-Spezies für Koniferen-Wälder in Nordost-Brandenburg (Schorfheide)

Spezies	Depositionen in kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> N	
	modelliert (Köble et al. 1999)	beobachtet (Zimmerling et al. 1999)
NH <sub>3</sub> -N (Gas)		7
NH <sub>4</sub> -N (Aerosol)		15
NH <sub>4</sub> -N (Bulk)		5
Reduziertes N	10	27
NO <sub>2</sub> (Gas)		1
HNO <sub>2</sub> -N (Gas)		2
HNO <sub>3</sub> -N (Gas)		6
NO <sub>3</sub> -N (Aerosol)		8
NO <sub>3</sub> -N (Bulk)		5
Oxidiertes N	10	22
Gesamt-N	ca. 20	45 bis 50

Wegen der zunehmende Bedeutung der größenklassierenden Messung von Schwebstäuben (Aerosolen) und ihren Inhaltsstoffen ist mittelfristig eine Verbesserung der Datenverfügbarkeit zu erwarten.

#### 1.1.4 Die Rolle der deutschen Landwirtschaft bei der Emission von Treibhausgasen

Die internationalen Regelungen (IPCC und UN/ECE) sehen vor, nur solche Emissionen als landwirtschaftliche Emissionen zu bewerten, die unmittelbar aus dem landwirtschaftlichen Produktionsvorgang resultieren. Emissionen von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), die aus dem Betrieb von Verbrennungskraftmaschinen auf dem Betrieb entstehen, werden ebensowenig der Landwirtschaft zugeschlagen wie die anteiligen Emissionen in Kraftwerken und bei der Bereitstellung von Erdgas (Methan, CH<sub>4</sub>) oder die Emissionen im Vorleistungsbereich (etwa bei der Herstellung und dem Transport von Düngemitteln).

Wenngleich die deutsche Landwirtschaft am anthropogenen Treibhauseffekt, der durch die sechs sog. Kyoto-Gase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, Fluorkohlenwasserstoffe, perfluorierte Kohlenwasserstoffe, SF<sub>6</sub>) hervorgerufen wird, nur etwa 6 % beteiligt ist, so beträgt doch ihr Anteil an den Emissionen von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O an den jeweiligen nationalen Gesamtemissionen etwa 50 % (BMELF 2000). (Zu Einzelheiten der Berechnung vgl. auch Ahlgrim und Dämmgen 1994).

Auch für die Emissionen der sog. biogenen Treibhausgase gilt, dass sie als unerwünschte Nebenprodukte erwünschter Hauptprodukte anfallen. Die Minderung ihrer Emissionen setzt ebenfalls voraus, dass man die Emissionen auf die relevanten Prozesse aufschlüsselt, sie angemessen quantifiziert und die Kosten möglicher emissionsmindernder Maßnahmen ermittelt.

### 1.1.5 Die gegenwärtig eingesetzten Verfahren zur Quantifizierung von Emissionen aus der Landwirtschaft

Emissionsströme oder Emissionsstromdichten für Emissionskataster werden nur in Ausnahmefällen gemessen. In der Regel werden sie nach international bzw. national vereinbarten oder festgelegten Verfahren berechnet. Sie bedienen sich eines Ansatzes, der Emissionen aus Aktivitäten und Emissionsfaktoren schätzt:

$$E = EF \cdot EEV$$

mit  $E$  Emission (Emissionsstrom, Emissionsstromdichte)  
 $EF$  Emissionsfaktor  
 $EEV$  Aktivität (emission explaining variable), auch mit  $A$  angegeben

Emissionsfaktor und Aktivität müssen dabei streng aufeinander bezogen sein.

Setzt man solche "Einfachverfahren" zur Berechnung von Ammoniak-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft an, so ergeben sich mit den gängigen Methoden die in Tabelle 1.4 angegebenen Zahlen.

Tab. 1.4: Berechnete Ammoniak-Emissionen für die deutsche Landwirtschaft, Angaben für 1990 in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> (Nennung der Tierkategorien entsprechend EEA/CORINAIR 2000)

		RAINS	EEA (1996)	BMU	ECE- TOC
<b>Rinder</b>	Milchkühe	265	187		
	Andere Rinder	181	185		
	Rinder	446	372	449	
<b>Schweine</b>	Mastschweine		128		
	Sauen		52		
	Schweine	157	181	165	
<b>Schafe</b>	Mutterschafe		3		
	Schafe	4		5	
<b>Pferde</b>		6	4	6	
<b>Geflügel</b>	Legehennen	16	26		
	Masthähnchen		10		
	Anderes Geflügel	12	7		
	Geflügel	28	43	28	
<b>Tierhaltung</b>		636	603	654	504
<b>Mineraldünger</b>		127			
<b>Andere (industrielle) Quellen</b>		9			
<b>Summe</b>		772			
<i>Quelle: RAINS (1998); EEA 1996; vgl. EEA/CORINAIR (1996); BMU: vgl. Asman 1992; ECETOC: vgl. ECETOC (1994)</i>					

Die Tabelle macht die Spannweite der Schätzungen oder ihre zeitliche Entwicklung deutlich. Die Abweichungen bei der Behandlung einzelner Tierkategorien sind teilweise erheblich.

Bisher war nicht vorgeschrieben, welches Verfahren zur Berechnung der Emissionen anzuwenden sei. IPCC legt für die Treibhausgase ein Arbeitsblatt vor, das vom EEA/CORINAIR-

Handbook (2000) übernommen wurde. Bei  $\text{NH}_3$  rechnete man in Deutschland für die Depositionsmo-  
delles mit Emissionsfaktoren, wie sie bei Asman (1992) angegeben sind. Die Optimierung  
der Minderungsmaßnahmen wurde mit den Emissionsfaktoren von RAINS (1998) geschätzt.  
Für die Ermittlung der Emissionen im Hinblick auf die Nationalen Emissionsobergrenzen muss  
das EEA/CORINAIR-Handbook (2000) verwendet werden (Europäische Gemeinschaft 2000).

Bei der Schätzung der Emissionen mit einfachen Methoden in der Praxis stützen sich alle Be-  
rechnungen zunächst auf öffentlich zugängliche und "amtlich beglaubigte" statistische Daten.  
Statistische Daten und Emissionsfaktoren müssen dabei stets aufeinander bezogen sein. Wen-  
det man z.B. die EEA/CORINAIR simpler methodology auf allgemein verfügbare deutsche Da-  
tensätze an, so erhält man ein sehr unvollständiges Bild. Gründe hierfür sind zunächst die feh-  
lende Verfügbarkeit statistischer Daten, dann aber auch der Umstand, dass bestimmte Emis-  
sionen nicht erfasst werden (Dämmgen und Grünhage 2002). Dieser Zustand ist unbefriedigend.

### **1.1.6 Die relevanten internationalen Maßnahmen zur Luftreinhaltung**

In den vergangenen Jahren wurden sowohl auf EU- als auch auf UN-Ebene verschiedene Initia-  
tiven zur Minderung der Luftreinhaltung ergriffen, die eine Verminderung der atmosphärischen  
Emissionen zum Ziel haben. Wegen seiner Bedeutung für die weiträumigen, grenzüberschrei-  
tenden Probleme der Eutrophierung und Versauerung wurde Ammoniak Anfang der 90-iger  
Jahre in die europäische Luftreinhaltungspolitik einbezogen. Diese Aktivitäten, die in besonderem  
Maße auch Emissionen landwirtschaftlicher Tierhaltungsbetriebe betreffen, werden nachfolgend  
kurz vorgestellt:

Auf Initiative der skandinavischen Staaten wurde im Jahre 1979 im Rahmen der Wirtschafts-  
kommission der Vereinten Nationen (UN/ECE) das Genfer Luftreinhalteabkommen ins Leben  
gerufen (UN/ECE 1996). Anlass war die Tatsache, dass die in den siebziger Jahren festgestell-  
te Versauerung der skandinavischen Binnenseen auf den Ferntransport von Luftschadstoffen  
aus den west-, mittel- und osteuropäischen Staaten zurückzuführen war. Mittlerweile wurden  
mehrere Vereinbarungen im Rahmen des Genfer Abkommens unterzeichnet, seit Beginn der  
90er Jahre werden auch die Ammoniak-Emissionen der Tierhaltung mit in die Verhandlungen  
einbezogen. Ein "Protokoll zur Bekämpfung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem  
Ozon" wurde erarbeitet (UN/ECE 1999).

Von der Überlegung, dass Luftverschmutzungen nicht vor nationalen Grenzen Halt machen,  
geht auch die geplante "EU-Richtlinie für nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luft-  
schadstoffe" aus (Europäische Gemeinschaft 2000). Die Ziele und Aktivitäten der beiden inter-  
nationalen Strategien ähneln sich daher.

Die EU-Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung  
(IVU-Richtlinie, Europäische Gemeinschaft 1996b) vom 24.9.1996 zielt auf die Vermeidung und  
Verminderung von Emissionen in Luft, Gewässer und Boden, um mit einem medienübergrei-  
fenden Ansatz die Umweltbelastungen einer Anlage insgesamt gering zu halten. Die IVU-  
Richtlinie löst die Industrieanlagen-Richtlinie ab und bezieht erstmals die Tierhaltung mit mehr  
als 2000 Mastschweineplätzen, mehr als 750 Zuchtsauenplätzen und mehr als 40 000 Geflü-  
gelplätzen ein. Während also die beiden erstgenannten Aktivitäten eine Minderung der nationa-  
len Gesamtemissionen zum Ziel haben, setzt die IVU-Richtlinie an der Emissionsminderung  
einer einzelnen (genehmigungsbedürftigen) Anlage an.

## **Genfer Luftreinhalteabkommen und (geplante) EU-Richtlinie über nationale Emissionshöchstgrenzen**

Ausgehend von modellierten *"critical loads"* werden über die Modellierung der Transmission und Anteile des in ein Staatsgebiet im- und exportierten Mengen von Luftschadstoffen die nationalen Emissionshöchstgrenzen eines jeden Luftschadstoffs für die zu erreichenden Minderungsziele ermittelt. Als Zwischenziel bis zum Jahr 2010 wird gefordert, dass nur noch in 50 % der Ökosysteme die kritischen Belastungswerte für die Versauerung überschreiten dürfen. Dies würde rechnerisch einer Reduktion der deutschen Ammoniak-Emissionen um 46 % bezogen auf 1990 gleichkommen. Neben den Niederlanden wäre Deutschland von diesen Minderungszielen am stärksten betroffen. Da etwa 90 % der Ammoniak-Emissionen Deutschlands der Tierhaltung zugeordnet werden müssen, wären bei einer Umsetzung dieses Reduktionsziels die Konsequenzen für die deutsche Tierproduktion nach derzeitigem Kenntnisstand unübersehbar.

### ***"Protokoll zur Bekämpfung von Versauerung Eutrophierung und bodennahem Ozon" im Rahmen des Genfer Luftreinhalteabkommens***

Das Protokoll, welches erstmals eine Minderung der Ammoniak-Emissionen enthält und somit die Tierhaltung direkt tangiert, wurde im Dezember 1999 von 27 Staaten der UN unterzeichnet. Zeichner des Protokolls sind neben westeuropäischen Staaten auch Beitrittsländer aus dem ehemaligen Ostblock und die USA bzw. Kanada.

Entgegen der ursprünglichen Forderung der UN hat Deutschland nur einer Minderung der Ammoniak-Emissionen von etwa 28 % zugestimmt, was einer jährlichen Emission von 550 Gg NH<sub>3</sub> entspricht. Alle Unterzeichner des Protokolls haben einem Verpflichtungskatalog für die Einführung von konkreten Minderungsmaßnahmen für Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung zugestimmt, so dass auch ein entscheidender Schritt für die Harmonisierung der Umweltschutzauflagen für die Tierhaltung auf internationaler Ebene vollzogen wurde.

Die wichtigsten Verpflichtungen im Protokoll sind (sinngemäß verkürzt):

1. Formulierung der guten fachlichen Praxis der Ammoniak-Emissionsminderung in der Landwirtschaft bei der Nutztierhaltung, bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern sowie bei der Ausbringung von Mineraldüngern.
2. Begrenzung der Emissionen aus festen Harnstoff-Düngern und Verbot von Ammoniumcarbonat-Düngern
3. Verwendung von Ausbringverfahren, die mindestens eine Emissionsminderung um 30 % bewirken (unter Berücksichtigung von Standort, Gülleart und Betriebstruktur). Einarbeitung von Stallmist innerhalb von 24 h nach der Ausbringung.
4. Bei der Lagerung von Gülle in genehmigungsbedürftigen Neuanlagen müssen die Emissionen um 40 % (gegenüber nicht abgedeckten Behältern) reduziert werden. Bei Altanlagen ist dies nur dann erforderlich, wenn die "Verfahren wirtschaftlich und technisch zweckmäßig sind".
5. Bei der Nutztierhaltung sind in genehmigungsbedürftigen Neuanlagen Verfahren einzusetzen, die zu einer Minderung der Ammoniak-Emissionen von 20 % führen (z.B. gegenüber Vollspaltenbodenverfahren in der Schweinehaltung).

Eine Umsetzung der verpflichtenden Maßnahmen des Protokolls in deutsches Recht wird voraussichtlich frühestens im Jahre 2002 beginnen. In 3 Jahren wird das nächste Protokoll zur Unterzeichnung vorgelegt. Dann werden voraussichtlich höhere Forderungen an die Tierhaltung gestellt.

### ***Sachstand bei der Umsetzung der EU-Richtlinie für nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luftschadstoffe***

Der Entwurf der Richtlinie wurde von der EU-Kommission Juni 1999 offiziell angenommen. Die meisten Mitgliedstaaten der EU stehen den Minderungszielen derzeit offensichtlich überwiegend positiv gegenüber. Der Zeitpunkt der Verabschiedung der Richtlinie durch das europäische Parlament und dem EU-Rat ist derzeit nicht absehbar. Nach derzeitigem Stand wird Deutschland im Rahmen der EU-Richtlinie über nationale Emissionshöchstgrenzen im Einvernehmen mit der EU-Kommission einer maximalen Emission von 550 Gg NH<sub>3</sub> für das Jahr 2010 zustimmen.

## **1.2 Problemstellung**

Durch die vorher beschriebenen internationalen Vereinbarungen haben die Berichtspflichten zu atmosphärischen Emissionen Deutschlands hinsichtlich Anzahl und Umfang erheblich zugenommen. Insbesondere die Daten zur Landwirtschaft sind aufgrund ungenügender Kenntnisse, aber auch aufgrund bisher fehlender Aufbereitung von vorliegendem Datenmaterial nur nach Einfachverfahren grob geschätzt. Eine Aussage, ob und in welcher Genauigkeit diese Daten die reale Emissionssituation annähernd widerspiegeln, lässt sich derzeit nicht treffen. Insbesondere die Einflüsse auf Emissionsminderungsmaßnahmen lassen sich mit dem derzeitigen Datenbestand nicht identifizieren. Darüber hinaus sind die Datensätze nicht an die Methoden der internationalen Berichtsformate und der Berechnungsverfahren angepasst.

## **1.3 Zielsetzung des Forschungsvorhabens**

Aus den vorhergehenden Ausführungen ergeben sich für das vorliegende Forschungsvorhaben folgende Ziele:

- Verbesserung der Datengrundlage zur Abschätzung der Emissionen von Ammoniak aus dem landwirtschaftlichen Bereich
- Abstimmung von Emissionsfaktoren auf nationaler Ebene
- Entwicklung einer verbesserten Berechnungsmethode für Schätzung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft, die als fortschreibungsfähiges EDV-gestütztes Standardverfahren in das zentrale System Emissionen des Umweltbundesamtes integriert werden kann
- Hochrechnung der Emissionen von Methan und Lachgas
- Abschätzung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft für 1990 (Basisjahr)
- Projektion der Entwicklung der NH<sub>3</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2010
- Kalkulation unterschiedlicher Szenarien zur Abschätzung erreichbarer Emissionsminderungen unter Einbeziehung möglicher Minderungspotentiale und Kosten

## 2 Vorgehensweise

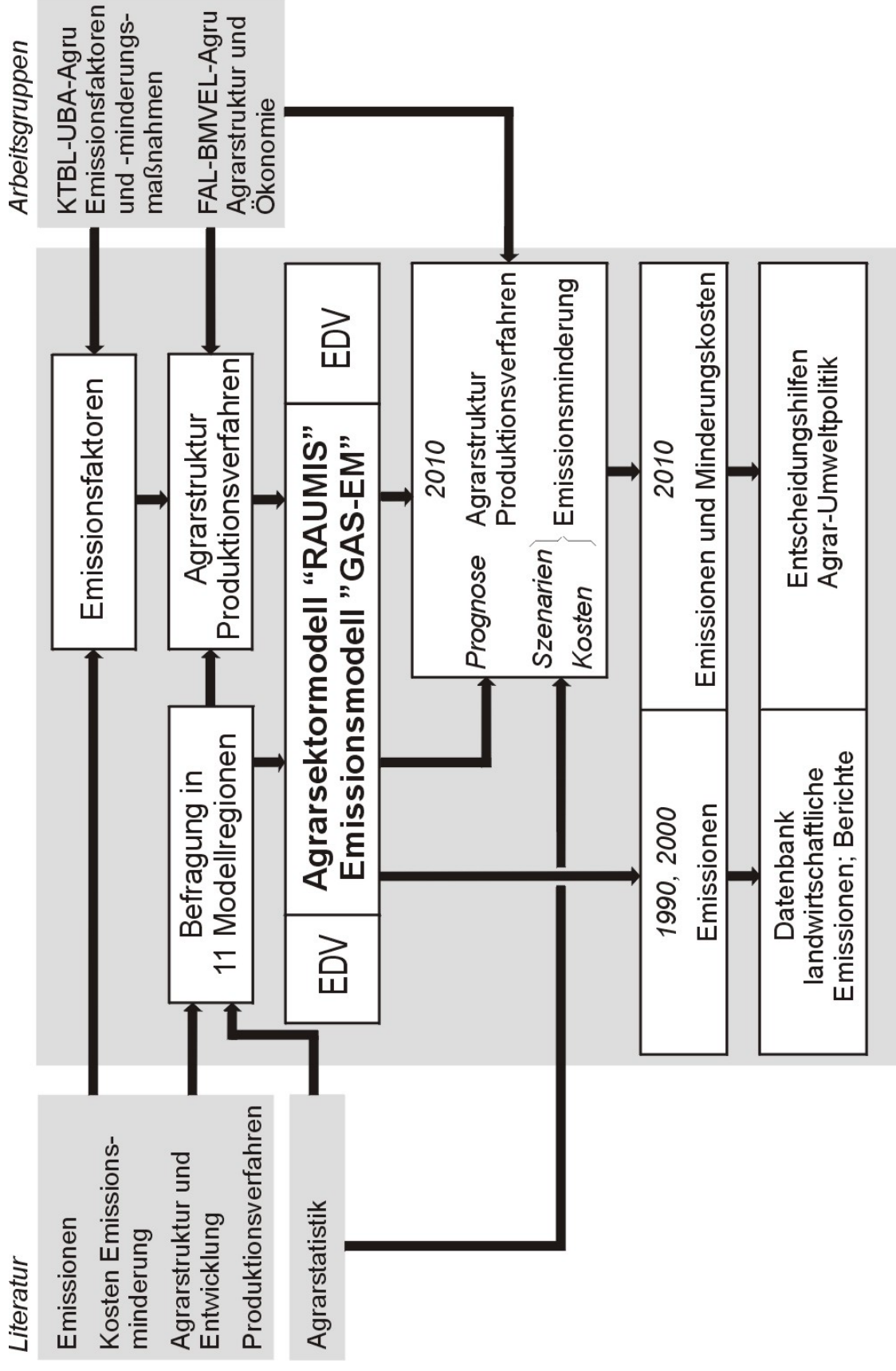
Das Vorgehen zur Ermittlung der Emissionen im Projekt und die Dokumentation der Ergebnisse sind in Übersicht 2.1 dargestellt.

Für die Durchführung verbesserter Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft fehlten bisher wichtige Datengrundlagen. Dies ist unter anderem aus der Studie zur Abschätzung der Möglichkeiten zur Emissionsminderung im Landkreis Coburg (Döhler und Zapf 1996, Eurich-Menden et al. 2001) bekannt. In Tabelle 2.1. wird die aus der "Coburg-Studie" gewonnene Einschätzung der wichtigsten Daten, die zur Berechnung nationaler Emissionsinventare der Tierhaltung erforderlich sind, dargestellt. Dies betrifft vor allem die Verfahren der Tierhaltung und ihrer Zuordnung zu Bestandsgrößen, Lagerkapazitäten für Wirtschaftsdünger, die Gewohnheiten der Landwirte bei der Ausbringung für Wirtschaftsdünger, die demographische Situation im Agrarsektor und die früher und derzeit bereits ergriffenen Maßnahmen zur Emissionsminderung.

Tab. 2.1: Erforderliche Daten, deren Verfügbarkeit und Einschätzung der Datensicherheit zur Kalkulation der NH<sub>3</sub>-Emissionen

Erforderliche Daten zur Berechnung nationaler Emissionen d. Tierhaltung	Datenverfügbarkeit		Bedeutung	damit verbundenen Unsicherheiten
	Verfügbar	Schlecht verfügbar		
<b>Tierzahlen</b>	•		Hoch	Niedrig
<b>Haltungssysteme</b> Laufstall /Anbindesysteme, fest/flüssig Systeme, Weidehaltung		•	Hoch	Hoch
<b>Fütterung</b> derzeitige Praxis, Techniken		•	Hoch	Hoch
<b>Wirtschaftsdünger-lagerung</b> Kapazität, abgedeckt/ nicht abgedeckt		•	Mittel	
<b>Ausbringtechnik</b>		•	Hoch	Hoch
<b>Emissionsfaktoren</b>	•		Hoch	Hoch
<b>Anwendbarkeit der Minderungsmaßnahmen</b> z.B. sozio-ökonomische Faktoren, Techniktransfer		•	Hoch	Hoch

Quelle: Döhler 1999



Übersicht 2.1: Ablaufschema des Projektes "Landwirtschaftliche Emissionen"



Fehlende Datengrundlagen wurden durch das Projektteam erarbeitet. Eine eigene, flächendeckende Erhebung fehlender Daten konnte aufgrund begrenzter Mittel nicht durchgeführt werden. Dies gilt insbesondere für die benötigten Informationen zur Verbreitung der unterschiedlichen Verfahren in der Tierproduktion wie Stall- und Weidehaltung, Fütterung, Dunglagerung und Ausbringung, für welche es bisher keine statistische Datengrundlage gibt. Im Rahmen der Befragungen in Modellregionen konnten Hinweise für die Ausgestaltung künftiger, umfassender Datenerhebungen gewonnen werden, die im Kapitel 9.1 dargestellt sind.

Tabelle 2.2 gibt eine Übersicht über die Datengrundlagen für die Emissionsberechnung und für in die Zukunft gerichtete Szenariorechnungen. Im den folgenden Abschnitten dieses Kapitels wird die methodische Vorgehensweise zur Erarbeitung dieser Datengrundlagen beschrieben. Daran anschließend werden die für die Emissionsberechnungen verwendeten Modelle vorgestellt.

Tab. 2.2: Datengrundlagen für die ein verbessertes Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft sowie für Szenariorechnungen

<b>Datengrundlage</b>	<b>Quelle</b>	<b>Kommentar/Probleme</b>
<b>Berechnungsverfahren</b>		
1 Tierbestandszahlen und Flächennutzungsstatistik (auf Kreisebene); Mineraldüngerverbrauch (auf Länderebene)	Daten des statistischen Bundesamtes; ergänzt durch Sonderauswertungen des BML (Bestandsgrößenklassenverteilung)	Probleme: Daten weisen aus Datenschutzgründen z. T. Lücken auf; Auswertungen nicht zeitnah verfügbar (Tierzählungsergebnisse 1999 lagen erst im September 2000 vor); Methode und Zeitpunkt der Erfassung wurden 1999 geändert
2 Differenzierte Emissionsfaktoren	Projektteam, Arbeitsgruppe Emissionen: Literaturanalysen und Abstimmung von abgesicherten Werten	Ergebnisse geben den derzeitigen Stand des Wissens wieder und sollten fortlaufend aktualisiert werden; vgl. Abschnitt 2.1
3 Verfahren in der Tierhaltung und im Mist- und Gülle- management	Projektteam: Befragung in Modellregionen sowie Übertragung der Ergebnisse und Hochrechnung anhand von Tierbestandsgrößenklassen	Fehlen von Daten aus statistischen Erhebungen; eigene Erhebung lokaler, expertenbasierter Einschätzungen bleiben punktuell; vgl. Abschnitt 2.2 und 2.4
	Sonderauswertung des Statistischen Bundesamtes von Daten zum Mist- und Gülleanfall (Repräsentativerhebung)	Daten lassen nur indirekte Rückschlüsse auf den Anfall von Mist und Gülle zu; vgl. Abschnitt 2.3
	Projektteam: Auswertung der DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE	Daten zu Tierhaltungsverfahren im Jahr 1990 in den Neuen Ländern; vgl. Abschnitt 2.3

<b>Szenariorechnungen</b>			
4	Minderungsmaßnahmen zur Reduzierung der Ammoniak-Emissionen	Projektteam, Arbeitsgruppe Emissionen: Experteneinschätzungen	vgl. Abschnitt 2.1
5	Kosten emissionsmindernder Maßnahmen	Projektteam, Literaturanalysen, eigene Berechnungen	vgl. Abschnitt 2.5
6	Strukturentwicklung in der Tierhaltung	Projektteam, Arbeitsgruppe Agrarstruktur und Ökonomie: Trendanalyse und Experteneinschätzungen	vgl. Abschnitt 2.4
7	Diskussion von Politikszenerarien	Projektteam, Arbeitsgruppe Agrarstruktur und Ökonomie: Trendanalyse und Experteneinschätzungen	vgl. Abschnitt 2.4

## 2.1 Ermittlung der Emissionsfaktoren, Arbeitsgruppe Emissionen

Grundlage für die Berechnung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft sind neben den Tierbestandszahlen und Daten zur Ausprägung technischer Verfahren in der Tierhaltung die spezifischen Emissionen von verschiedenen Produktionsverfahren bzw. deren Teilschritten. Die Festlegung der Emissionsfaktoren war eine zentraler Arbeitsschritt im Projekt. Die bisher in standardisierten Berechnungsverfahren wie RAINS verwendeten Emissionsfaktoren wurden mit vergleichsweise unsicherem Datenmaterial und für die einzelnen Emittentengruppen wenig differenzierten Annahmen erstellt.

Zunächst erfolgte eine Literaturrecherche durch die Projektgemeinschaft. Hierbei wurden die vorhandenen Untersuchungsergebnisse auf Plausibilität geprüft. Diese Auswertungen wurden zusammen mit der KTBL Arbeitsgruppe "Emissionsfaktoren und Emissionsminderungsmaßnahmen" (Mitglieder s. Impressum) diskutiert und abgestimmt. Die Arbeitsgruppe wurde mit Beginn des Vorhabens gegründet. Folgende Punkte wurden in der Arbeitsgruppe abgestimmt:

- Nährstoffausscheidungen für Rinder, Schweine, Geflügel
- Haltungungsverfahren für Rinder, Schweine und Geflügel, die den Zeitraum 1990, 2000 und 2010 umfassen
- Emissionsfaktoren für die verschiedenen Haltungungsverfahren
- Ammoniak-Emissionsfaktoren für die Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern sowie die Mineraldüngeranwendung
- Maßnahmen zur Reduzierung der Ammoniak-Emissionen.

Dabei wurden auch empirische Ableitungen von Emissionsfaktoren für Verfahren getroffen, die nicht messtechnisch untersucht wurden. Auf die einzelnen Ergebnisse wird in den jeweiligen Kapiteln eingegangen. Durch die Arbeitsgruppenaktivität wurde bereits während des Vorhabens größtmöglicher Konsens der tangierten Fachbereiche erzielt.

## 2.2 Befragung in Modellregionen

### 2.2.1 Befragung

Während für die Tierbestände die Ergebnisse der amtlichen Tierzählung herangezogen werden können, sind weitere, für differenzierte Emissionsberechnungen benötigte Daten zu Tierhaltungsverfahren und zum Wirtschaftsdüngermanagement nicht durch die Agrarstatistik erfasst. Diese Daten konnten im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht flächendeckend erhoben werden. Daher wurden anhand von Karten zur regionalen Ausprägung der Rinder- und Schweinehaltung, von Viehbesatzdichten und Bestandsgrößenklassen Modellregionen ausgewählt, die für Deutschland typische Tierhaltungsstrukturen aufweisen. Bei der Auswahl der Regionen und bei der Struktur des Fragebogens spielten Gesichtspunkte der Übertragbarkeit und der Hochrechenbarkeit der Befragungsergebnisse eine wichtige Rolle.

In jeder der 11 ausgewählten Regionen wurden in jeweils ein oder zwei, als repräsentativ erachteten Landkreisen Befragungen von Experten für die lokalen, landwirtschaftlichen Verhältnisse durchgeführt. Der Kreis der Befragten setzte sich aus Vertretern von Kreisstellen der Landwirtschaftskammern, Ämter für Landwirtschaft und freien Beratern zusammen. In der Regel wurde der Fragebogen an eine Kammer bzw. ein Amt versendet und zu einem späteren Zeitpunkt eine persönliche Befragung mit mehreren lokalen Experten durchgeführt. Die Befragung wurde im Frühjahr bis Sommer 2000 durchgeführt.

Die Modellregionen und die ausgewählten Kreise gehen aus Tabelle 2.3 hervor.

Tab. 2.3: Durch vergleichbare Agrarstruktur gekennzeichnete Modellregionen und die für sie repräsentativen Landkreise

Modellregion			Landkreise
1	Weser-Ems	Westdeutsche Veredelungsregion	Cloppenburg
2	Marsch/Geest zwischen Weser und Elbe	Futteranbaugebiete Nordwestdeutschlands	Rotenburg
3	Nordbrandenburg und Mecklenburg-Vorpommern	Neue Länder Nord	Prignitz, Ostprignitz-Ruppin
4	Magdeburger Börde (Halle/Leipzig)	Neue Länder Mitte	Leipziger Land
5	Ostdeutsche Mittelgebirge/westliches Erzgebirge	Neue Länder Süd	Westlicher Erzgebirgskreis
6	Muschelkalk-Keuper-Jura-Hügelland	Mittel- und Nordbayern	Coburg
7	Südostbayerisches Voralpengebiet	Voralpen, Bayerischer Wald	Rosenheim, Traunstein
8	Baden-Württembergisches Allgäu	Futterbaugebiete Südwestdeutschlands	Ravensburg
9	Vogelsberg/Rhön	Mittelgebirge Hessens	Vogelsbergkreis
10	Sauerland	Mittelgebirge Nordrhein-Westfalens	Oberbergischer Kreis
11	Eifel	Mittelgebirge in Rheinland-Pfalz und Saarland	Bitburg-Prüm

Die Experten der lokalen Landwirtschaft wurden zu Details der gängigen Produktionsverfahren und zukünftig zu erwartenden Entwicklungen befragt. Die Befragung sollte Häufigkeitsverteilungen der Haltungsformen, Tierernährung und Informationen zum Wirtschaftsdüngermanagement zusammentragen, und zwar in Anlehnung an in der KTBL-Arbeitsgruppe "Emissionsfaktoren und Emissionsminderungsmaßnahmen" zusammengestellten Verfahrensabgrenzungen. Für wichtige Tierkategorien wurden diese Merkmale aufgeschlüsselt nach Tierbestandsgrößenklassen erhoben (Milchkühe, Mastbullen, Mastschweine, Sauen, Legehennen, Mastgeflügel), für andere Tiergruppen wurden weniger detaillierte Daten erfasst (Mutterkühe, Färsen) und zu Schafen, Pferden und sonstigen Tieren wurden keine Erhebungen durchgeführt. Darüber hinaus wurde getrennt nach Rindern, Schweinen und Geflügel, aber ohne Unterteilung nach Bestandsgrößenklassen, die Lagerkapazität, die Lagerart der Wirtschaftsdünger und Techniken zu deren Ausbringung ermittelt. Die Zuordnung der Stallhaltungsverfahren zu den in der Statistik erfassten Viehbestandsgrößenklassen erlaubt eine verbesserte Übertragung und Hochrechnung der Befragungsergebnisse für nicht befragte Regionen.

Zunächst wurden die Daten für das Basisjahr 1990 und das Jahr 2000 erfragt. Ausgehend von diesen Angaben wurde eine Einschätzung der Tendenzen bei Tierhaltungsverfahren, Tierbestandsgrößen und der Anzahl der Betriebe im Jahre 2010 ermittelt. Um die Befragung nicht unnötig auszudehnen, wurden nur 6 Größenklassen erhoben; die bis zu 10 Klassen in statistischen Auswertungen wurden dafür zusammengefasst. Die Bestandsgrößenklassenverteilung fällt in West- und Ostdeutschland bedingt durch unterschiedliche historische und agrarstrukturelle Entwicklungen sehr verschieden aus. Aufgrund der unterschiedlichen Größenklassenverteilung wurden zwei Fragebogenversionen erstellt. Die Version für die neuen Länder berücksichtigt die größeren Tierbestandsklassen. Beispielsweise wurde für Milchvieh die Bestandsgrößenklasse > 100 Kühe, bei Mastschweinen die Klasse > 1000 Mastplätze aufgenommen. Während in den neuen Ländern im Jahr 1999 88 % der Milchkühe und 42 % der Milchvieh haltenden Betriebe in die Klasse über 100 Tiere fielen, waren es in den alten Ländern nur 4 % der Milchkühe und 0,8 % der Betriebe. Bei Mastschweinen standen 1999 76 % der Tiere in den neuen Ländern in Beständen über 1000 Tiere (6 % der Betriebe), in den alten Ländern waren es 12 % der Tiere und 0,7 % der Mastschweine haltenden Betriebe. In den alten Ländern wurde von einer Differenzierung der großen Bestandsklassen abgesehen, da die Befragung derart weniger Betriebe einen unverhältnismäßig hohen Aufwand bedeutet hätte.

Die Ergebnisse der Befragung sind in einer EXCEL-Datei zusammengestellt. Auf eine detaillierte Darstellung wurde aufgrund der Datenfülle verzichtet. Einzelne ausgewertete Ergebnisse sind im Kapitel 2.6 und 4.2 dargestellt. Probleme bereitete bei der Befragung die Abgrenzung der Fütterungsverfahren bei Mastschweinen. Die Antworten zur Häufigkeit mehrphasiger Mastverfahren erscheinen in einer Reihe von Fällen unplausibel, auch gibt es Unsicherheiten, in welchem Umfang spezielles, zur Eiweiß-reduziertes Futter Verwendung findet und mit welcher N-Reduzierung in der Ausscheidung die jeweiligen Verfahren tatsächlich verbunden sind.

Zur Geflügelhaltung konnten nur in wenigen Regionen Informationen zusammengetragen werden. Dies liegt vor allem daran, dass ein großer Teil der Geflügelhaltung in gewerblichen und nicht in landwirtschaftlichen Unternehmen stattfindet. Die lokalen Experten haben nur begrenzten Einblick in diese gewerblichen Betriebe. Zur Ergänzung wurden deshalb Daten der ZMP sowie Experteneinschätzungen zur Geflügelhaltung herangezogen (ZMP 2000; Prof. Petersen, Bonn, mündliche Mitteilung, 2000).

## 2.2.2 Übertragung und Hochrechnung der Befragungsergebnisse

Mit der Befragung in den Modellregionen wurden Experteneinschätzungen über die jeweiligen lokalen Verhältnisse in der Tierproduktion erfasst. Diese Einschätzungen stellen keine abgesicherten statistischen Daten dar und geben zudem nur Informationen für begrenzte Gebiete. Daher ist die Frage zu beantworten, inwieweit die Befragungsergebnisse zur Erstellung einer Datengrundlage für eine flächendeckende Emissionskalkulation auf andere Regionen übertragen und hochgerechnet werden können (vgl. Abschnitt 2.6.22, S. 33 ff). Eine solche, aus den Ergebnissen der Befragung in Modellregionen hochgerechnete Datenbasis sollte künftig durch eine bessere, statistische Grundlage, etwa aus betrieblichen Erhebungen, ersetzt werden.

Für die Übertragung wurde in einem ersten Schritt mit Hilfe von flächendeckend auf Kreisebene verfügbaren, statistischen Informationen zur Rinder- und Schweinehaltung und zu naturräumlichen Merkmalen Kreise mit ähnlicher Tierhaltungsstruktur ermittelt. Diese Analyse weist also Gruppen von Landkreisen mit ähnlicher Struktur der Rinder- und Schweinehaltung aus, anhand derer eine Übertragung der Ergebnisse aus den Modellregionen vorgenommen werden kann. Die Clusteranalyse wurde aufgrund der sehr unterschiedlichen Agrarstruktur getrennt für West- und Ostdeutschland durchgeführt. Die dabei verwendeten Merkmale finden sich in Tabelle 2.4.

Tab. 2.4: Regionale Merkmale für die Clusteranalyse und ihre Verwendung in West- und Ostdeutschland

Kürzel	Regionales Merkmal	Deutschland	
		West	Ost
<b>RIGV</b>	Rinder-GV in % der gesamten GV	X	X
<b>SCGV</b>	Schweine-GV in % der gesamten GV	X	X
<b>MILC</b>	Milchleistung	X	X
<b>MIKL</b>	Milchvieh in Beständen bis 20 Tiere in % vom Gesamtbestand	X	X
<b>MIGR</b>	Milchvieh in Beständen über 60 Tiere in % vom Gesamtbestand	X	X
<b>SCKL</b>	Mastschweine (>20 kg) in Beständen bis 100 Tiere in % vom Gesamtbestand	X	X
<b>SCGR</b>	Mastschweine (>20 kg) in Beständen über 400 Tiere in % vom Gesamtbestand	X	X
<b>BKZ</b>	Bodenklimazahl		X
<b>HOCH</b>	Höhe (lag nur für Westdeutschland vor)	X	
<b>GLAN</b>	Grünlandanteil	X	X
<b>REG</b>	Regionale Zugehörigkeit nach Kreiscode, z. T. gemäß regionaler Nähe umgestellt (Westdeutschland: regionale Zugehörigkeit doppelt gewichtet)	X*	X

\* Eine weitere Analyse für Westdeutschland wurde ohne regionale Zugehörigkeit durchgeführt.

In Westdeutschland kommen bei der Clusterung die Kriterien Anteil der Rinder- bzw. Schweine-GV und die Größenklassen der Tierhaltung stärker zum Tragen. Dabei wird eine bundeslandübergreifende Gruppierung zugelassen; das Merkmal „regionale Zugehörigkeit“ führt aber dazu, dass nicht sehr weit voneinander entfernte Kreise in eine Gruppe fallen. Wie die Karte 2.1

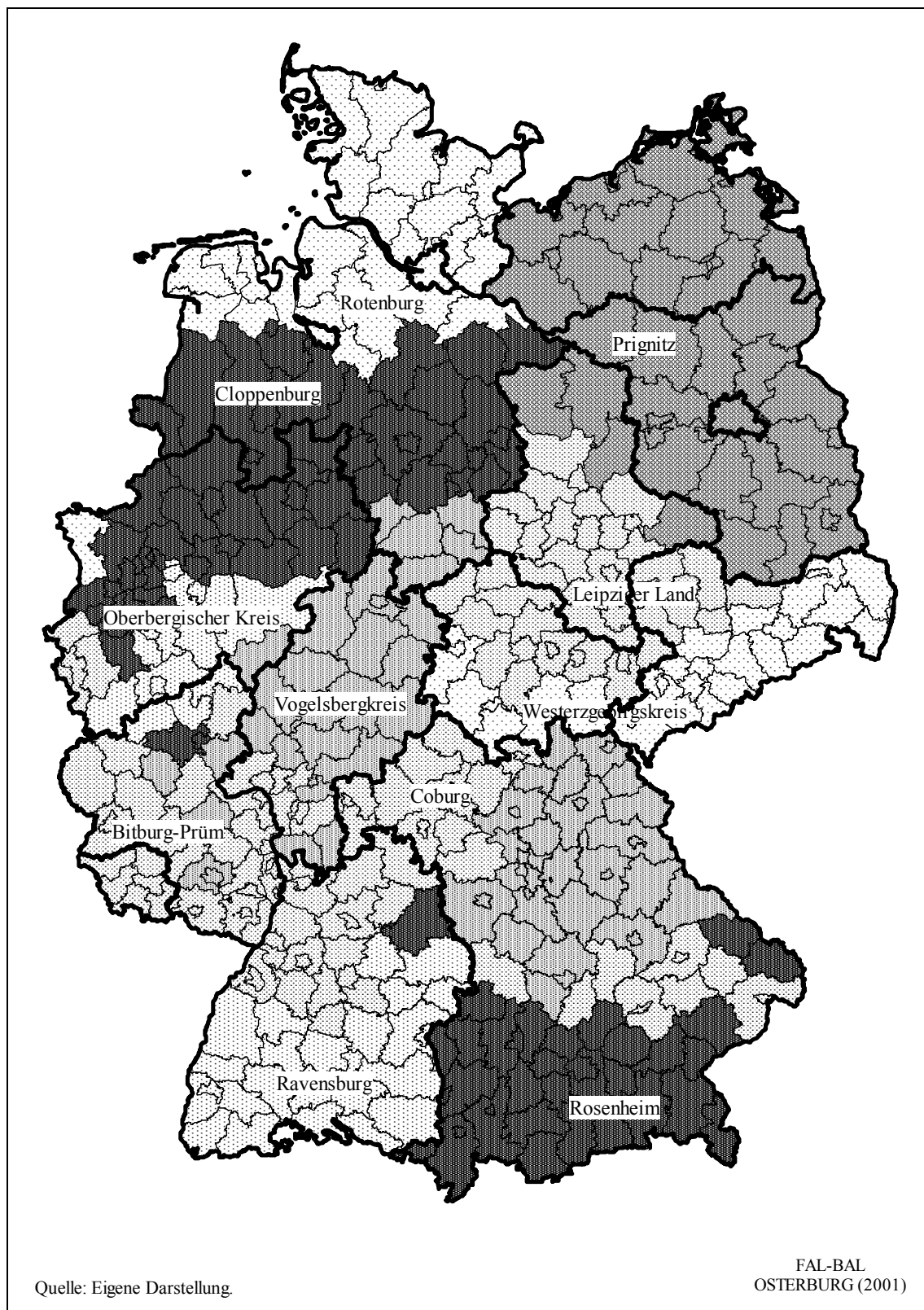
veranschaulicht, wurden je nach Agrarstruktur Kreisen verschiedener Bundesländer einer Modellregion zugeordnet. Bei einer Variationsrechnung ohne das Merkmal „regionale Zugehörigkeit“ wurde die Gruppierung nicht wesentlich verändert. Die Clusterergebnisse hängen somit im Wesentlichen von der Struktur der Tierhaltung ab. In Süddeutschland gibt es eine größere Gruppe von Kreisen in Baden-Württemberg und Bayern, die sich deutlich von den vorhandenen Modellregion unterscheiden und somit nur schwer zuordnen lassen. Dies bedeutet, dass für diese Kreise keine repräsentative Modellregion befragt wurde.

Der ursprünglich für die Befragung eingeplante Landkreis Calw (Hügelland/Mittelgebirge Süddeutschlands mit kleinstrukturierter Landwirtschaft) konnte im Rahmen des Projektes aufgrund der begrenzten Finanz- und Personalkapazitäten nicht mehr in die Erhebung einbezogen werden. Die Clusterung in Ostdeutschland orientiert sich vor allem an den Naturräumen (Bodenklimazahl, Grünlandanteil), da die Tierhaltungsstrukturen nur geringfügig variieren.

Die Ergebnisse der Clusteranalysen wurden anhand von Karten und Statistiken überprüft. Dabei wurden einige nicht eindeutig zuzuordnende Kreise den nach der Clusteranalyse ähnlichsten, benachbarten Kreisen per Hand zugeordnet (zu den Abgrenzungen der Modellregionen vgl. Karte 2.1). Die Befragungsergebnisse aus den 11 Modellregionen wurden anschließend mit Hilfe einer Rechenroutine im Modell RAUMIS (vgl. Abschnitt 2.6) anhand der erstellten Gruppierung in 11 Regionen auf die jeweils ähnlichen Kreise übertragen.

Im zweiten Schritt wurden die nach Bestandsgrößenklassen differenziert erfassten Merkmale auf Grundlage eines Hochrechnungsverfahrens übertragen, das auf die jeweilige kreisspezifische Struktur der Bestandsgrößenklassen aufbaut und die Verfahrensausprägung entsprechend gewichtet. Diese Vorgehensweise erlaubt eine näherungsweise Abschätzung der Verfahrensumfänge in allen Regionen.

Der Hochrechnung liegt die Annahme zugrunde, dass die Bestandsgröße eine entscheidende Rolle bei der Ausprägung der Stallhaltungsformen spielt. Dies lässt sich durch einen Vergleich mit anderen, statistischen Informationen bestätigen (vgl. Kapitel 4.2). Ferner wird angenommen, dass sich die Verfahren des Wirtschaftsdüngermanagements innerhalb der jeweiligen Modellregionen nicht grundsätzlich unterscheiden. Das Management ist einerseits abhängig von Ausbildung und Einstellung der landwirtschaftlichen Betriebsleiter. Hierüber liegen keine statistischen Informationen vor, ebenso fehlt ein empirisch nachgewiesener Zusammenhang zwischen den Betriebsleitereigenschaften und dem Wirtschaftsdüngermanagement als Grundlage für eine Hochrechnung. Andererseits hängt das Wirtschaftsdüngermanagement von Informations-, Beratungs- und Förderprogrammen sowie Auflagen ab, die in der Regel auf Länderebene ausgestaltet werden. Wie die Gülleverordnungen der Länder Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen, Bremen und Nordrhein-Westfalen aus den 80er und Anfang der 90er Jahre zeigen, gibt es daneben aber auch regional vergleichbare, politische Vorgaben in benachbarten Bundesländern. Für einen ersten, differenzierten Berechnungsansatz wurde daher die Übertragung der Befragungsergebnisse innerhalb der Modellregionen als vertretbar angesehen. Insbesondere in Bezug auf das Wirtschaftsdüngermanagement gilt es aber, die Annahmen künftig durch bessere Daten aus betrieblichen Erhebungen zu ersetzen.



Karte 2.1: Modellregionen zur Übertragung der Strukturen in der Tierhaltung

## 2.3 Ergänzende Datenerhebungen

Ergänzend zu den Erhebungen in den Modellregionen wurde auf Antrag eine Sonderauswertung des Mist- und Gülleanfalls in landwirtschaftlichen Betrieben nach Regierungsbezirken vom Statistischen Bundesamt durchgeführt. Die Schichtung erfolgte differenziert nach Spezialisierung in der Tierhaltung und nach Bestandsgrößenklassen (vgl. Anhang Übersicht A1). Die Datengrundlage bildet eine Repräsentativerhebung der Statistischen Ämter vom Jahr 1995. Die Daten werden für die jeweilige Schichtung getrennt nach Betrieben ausschließlich mit Mist, ausschließlich mit Gülle sowie mit Mist und Gülle ausgewiesen. Für eine Abschätzung der insgesamt nach Tierbestandsklassen anfallenden Mist- und Güllemengen besteht das Problem der Berechnung der Verteilung des Wirtschaftsdüngers auf Gülle und Mist in den Betrieben mit beiden Wirtschaftsdüngerformen. Ein Vergleich der Lagerkapazitäten in Betrieben ausschließlich mit Gülle erlaubt eine näherungsweise Berechnung der in diesen Betrieben auftretenden Verteilung zwischen Mist und Gülle. Anhand der Bestandsgrößenklassen lassen sich die statistischen Informationen auf alle Kreise übertragen. Die auf Regierungsbezirksebene vorliegenden Viehbesatzdichten in Dungeinheiten für Futterbaubetriebe aus dieser Sonderauswertung werden auch für Kalkulationen der für die Wirtschaftsdüngerausbringung zur Verfügung stehenden Flächen herangezogen.

Weiterhin wurden für die neuen Ländern die Stallstrukturen vor 1990 anhand der DDR-Bausubstanzanalyse aus dem Jahr 1987 erfasst und analysiert. Diese Daten werden für einen Vergleich der Berechnungsgrundlagen für die Rinder- und Schweinehaltung in den neuen Ländern im Jahr 1990 genutzt. Die Daten, die differenziert nach den alten Verwaltungsbezirken der DDR vorliegen, wurden aufgrund des Fehlens von Tierbestandszahlen in den Bezirken durch einfache Mittelwertbildung auf die heutigen Bundesländer umgerechnet. Anfang der 90er Jahre kam es zu einem raschen Tierbestandsabbau und zu Stallneubau und –modernisierung, weshalb die Daten für spätere Zeiträume nicht mehr für Vergleiche herangezogen werden können.

Um im Modell RAUMIS eine nach Jahreszeiten und Temperaturen differenzierte Berechnung der Gülle- und Jaucheausbringung zu ermöglichen, wurde die Zentrale Agrarmeteorologische Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes in Braunschweig um eine Sonderauswertung gebeten. Verwendet wurden die monatliche Mittelwerte der Bodenoberflächentemperatur aus 39 Jahren aus 69 Wetterstationen aus ganz Deutschland.

In Deutschland wurden bereits in der Vergangenheit Maßnahmen zur Reduzierung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft ergriffen, insbesondere auf Ebene der Bundesländer. Anhand eines einfachen Fragebogens wurden unter Mithilfe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten die zuständigen Länderstellen zu den diesbezüglichen Ländereaktivitäten in den letzten 10 Jahren befragt. Die Befragungsergebnisse lassen sich nicht systematisch und quantifizierbar darstellen und vergleichen, dennoch ergab die Befragung eine Vielfalt von Maßnahmen, die bereits in der Vergangenheit die Verbreitung emissionsmindernder Verfahren beeinflusst haben (vgl. Kapitel 8.1).



## **2.4 Strukturentwicklung und Politiken, Arbeitsgruppe Agrarstruktur und Ökonomie**

### **Arbeitsgruppe „Agrarstruktur und ökonomische Bewertung“**

Die BML-Arbeitsgruppe „Agrarstruktur und ökonomische Bewertung“ (Mitglieder Impressum) hatte als Zielsetzung, die Grundlagen für Projektionsrechnungen festzulegen und mögliche politische Maßnahmen zur Emissionsminderung zu bewerten. Dafür wurden die folgenden Aufgaben bearbeitet:

- Die Abschätzung des landwirtschaftlichen Strukturwandels, besonders im Bereich der Tierhaltung bei Rindern und Schweinen; differenziert nach Regionen (alte/neue Länder, Bundesländer):
  - Bestandsgrößenentwicklung auf Grundlage von Trendschätzungen
  - Entwicklung der Tierbestände bzw. Produktionsmengen nach Tiergruppen
  - Entwicklung der regionalen Konzentration
- Eine Abstimmung der Kosten von Minderungsmaßnahmen
- Die Diskussion von Szenarien:
  - Definition einer „Baseline“ (Basisprojektion),
  - Diskussion des Technologietransfers für relevante Minderungsmaßnahmen
- Die Diskussion von Politikmaßnahmen

## **2.5 Berechnung der Kosten von Minderungsmaßnahmen**

Für die Bewertung der Maßnahmen, die zu einer Verringerung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft führen können, sind neben deren Wirksamkeit die Umsetzungskosten von Bedeutung.

Nachdem durch die KTBL-Arbeitsgruppe "Emissionsfaktoren und Emissionsminderungsmaßnahmen" die Emissionsfaktoren und damit indirekt auch die Wirksamkeit im Hinblick auf die NH<sub>3</sub>-Reduktion unterschiedlicher Haltungssysteme, Gülle- und Mistlagerung sowie deren Ausbringung abgestimmt worden war, fand durch die Projektgemeinschaft eine Auswahl der Maßnahmen statt, deren Implementierung realistisch erscheint. Diese sind in Tabelle 2.5 für Rinder, Schweine und Geflügel dargestellt. Für Milchkühe wird zum Beispiel im Stallbereich die Haltung im Anbindestall nicht als realistische Minderungsmaßnahme angesehen. Der Anbindestall weist zwar kleinere Emissionsfaktoren auf als der Boxenlaufstall, eine Umstellung auf Anbindeställe ist aber nicht sehr wahrscheinlich, da sie unter arbeitswirtschaftlichen und sonstigen Kostenaspekten als sehr ungünstig einzustufen ist und ein deutlicher Trend zum Laufstall zu beobachten ist. Auch aus Aspekten des Tierschutzes ist die Anbindehaltung als ungünstiger anzusehen.

Tab. 2.5: Minderungsmaßnahmen (in Klammern: Kosten nicht berechnet)

Minderungsmaßnahmen		Rinder	Schweine	Geflügel
<b>Haltung</b>	▪ Außenklimastall		✓	
	▪ Großgruppe		✓	
	▪ Rinnenboden-Laufstall	✓		
	▪ Kotband mit Belüftung			(✓)
<b>Fütterung</b>	▪ Angepasste Fütterung		✓	(✓)
<b>Lagerung</b>	▪ Abdeckung des Güllelagers	✓	✓	
	▪ Erweiterung der Lagerkapazität	✓	✓	
<b>Ausbringung</b>	▪ Verwendung emissionsmindernder Ausbringungstechnik bei Gülle	✓	✓	
	▪ Unmittelbare Einarbeitung (1-4 Stunden)	✓	✓	✓
	▪ Gülleverdünnung mit Wasser	✓		

Die Kostenkalkulationen berücksichtigen drei unterschiedliche Betriebsgrößenklassen, die sich in unterschiedlichen Gebäudegrößen, Güllebehältermaßen und Ausbringtechniken niederschlagen. Ausgangswerte für die Berechnungen sind neuere Untersuchungen zu Baukosten, Arbeitsaufwand, Gerätekosten etc. Lagen mehrere Daten zu einem Kostenpunkt vor, so wurde der ungewichtete Mittelwert verwendet. Auch wurden eigene Berechnungen durchgeführt. Neben der Berechnung der Minderungskosten pro Stallplatz, die sich für Kostenvergleiche innerhalb einer Tierart und Produktionsrichtung eignen, wurde eine Kostenberechnung pro reduziertes kg  $\text{NH}_3$  vorgenommen. Anhand dieser Kenngröße können Aussagen über "absolute" (tierartübergreifende) Kostenvorteile der unterschiedlichen Emissionsminderungsmaßnahmen getroffen werden.

Eine Berechnung der Kosten von Minderungsmaßnahmen im Stallbereich erfolgte für Mastschweine und Milchkühe. Bei Aussenklimaställen für Mastschweine wurde davon ausgegangen, dass lediglich beim Neubau für den Landwirt eine Entscheidungssituation im Hinblick auf den Stalltyp besteht, während ein Umbau von Ställen für unwahrscheinlich gehalten wird.

Für die Minderungsmaßnahme Protein-angepasste Fütterung wurde eine Umstellung von einphasiger- auf mehrphasige Fütterung bei Stallneubau berechnet. Dabei wurden die Mehrkosten für die angepasste Fütterung unterschiedlicher Haltungs- (Klein- und Großgruppen) und Fütterungssysteme (Brei- und Flüssigfütterung) berücksichtigt. Da es sowohl zu Futtereinsparungen als auch geringen Mehrkosten kommt, werden die Kalkulationen ohne eine Veränderung der Futterkosten vorgenommen. Der Einsatz synthetischer Aminosäuren, der die Futterkosten i.d.R. erhöht, wurde bei diesen Rechnungen nicht berücksichtigt. Die spezifischen Verfahrenskosten (in DM/Mastplatz und Jahr) schließen die Investitions- und Betriebskosten ein. Die Umrechnung der Kosten (Haltung und Fütterung) auf die Emissionsminderung pro kg  $\text{NH}_3$  wird erreicht, in-

dem die Kosten pro Stallplatz und Jahr auf die Emissionsminderung in kg NH<sub>3</sub> bezogen werden<sup>1</sup>.

Eine solche Vorgehensweise, die Minderungsmaßnahmen isoliert von den sonstigen Verfahrensausprägungen betrachtet, führt nicht zu allgemein übertragbaren Ergebnissen, da z. B. die im Stallbereich erreichte Emissionsminderung zu höheren Emissionen in der Lagerungs- und der Ausbringungsstufe führen kann. Daher lassen sich tatsächlich zu erwartende Minderungskosten, bezogen auf gemindertem NH<sub>3</sub>-N, nur in Modellen abschätzen, die alle Verfahrensstufen simultan berücksichtigen. Die vorliegenden Einzelrechnungen geben einen größenordnungsmäßigen Hinweis über die Kostenwirksamkeit einzelner Maßnahmen.

Im Bereich der Güllelagerung können NH<sub>3</sub>-Emissionen zum einen durch eine Abdeckung von (bislang offenen) Außenlagern erreicht werden, zum anderen wird bei einer Ausdehnung der Güllelagerkapazitäten davon ausgegangen, dass die Verwertung der Gülle im Frühjahr aufgrund geringerer Temperaturen zu geringeren Emissionen führt. Referenz ist in der Milchproduktion und Rindermast ein unabgedecktes Außenlager mit natürlicher Schwimmdecke, während bei Mastschweinen und Sauen nicht vom Vorhandensein einer solchen, emissionsmindernden Schwimmdecke ausgegangen werden kann. Andere Behälterarten werden wegen ihrer geringen Verbreitung in der Praxis (z.B. Lagunen mit ca. 3-4 %) nicht im Rahmen der Kostenkalkulation berücksichtigt. Ausgangsbasis für die Berechnungen ist die Annahme, dass analog zu den Stallplätzen Güllebehälter unterschiedlichen Fassungsvermögens abzudecken sind. In Tabelle 2.6 sind beispielhaft die Stallplätze (gerundet) für Milchkühe und Mastschweine angegeben, die sich aus unterschiedlichen Güllebehältergrößen und Lagerkapazitäten von 6 und 8 Monaten ableiten.

Tab. 2.6: Anzahl der Stallplätze bei unterschiedlicher Lagerkapazität und Lagerdauer

		250 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>	1000 m <sup>3</sup>
<b>6 Monate</b>	<b>Milchvieh</b>	25	50	150
<b>6 Monate</b>	<b>Mastschweine</b>	333	667	2000
<b>8 Monate</b>	<b>Milchvieh</b>	19	38	113
<b>8 Monate</b>	<b>Mastschweine</b>	250	500	1500

Quelle: eigene Berechnungen

Um die unterschiedlichen Angaben aus der Literatur (unterschiedliche Behältergrößen, Angaben in m<sup>3</sup>, in m<sup>2</sup> etc.) zu vereinheitlichen, wurde bei der Ermittlung der abzudeckenden Oberfläche von den Annahmen ausgegangen, dass das Verhältnis Höhe zu Durchmesser etwa 1/4 beträgt und die Behälter mit einem Freibord von 0,5 m ausgestattet sind (Gartung 1999). Daraus ergeben sich folgende Behältereigenschaften:

<sup>1</sup> Minderungskosten (DM pro kg NH<sub>3</sub>) =  $\frac{\text{Kosten in DM pro Mastplatz u. Jahr}}{\text{Emissionsminderung in kg NH}_3 \text{ pro Mastplatz und Jahr}}$

Tab. 2.7: Modellhafte Annahmen für Behältergrößen zur Außenlagerung von Gülle (proportional)

<b>Volumen</b>	<b>250 m<sup>3</sup></b>	<b>500 m<sup>3</sup></b>	<b>1500 m<sup>3</sup></b>
Höhe (m)	3,5	4	6
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	83,3	142,9	272,7
Durchmesser (m)	10,3	13,5	18,6

Werte, die in der Literatur unverzinst angegeben werden oder mit anderen Annahmen oder Methoden berechnet sind, wurden mit der Annuitätenmethode die durchschnittlichen jährlichen Kosten für unterschiedlichen Abdeckungen berechnet (Zinssatz 6 %, Reisch und Zeddies 1992). Vereinfachend wird hierbei von einem Restwert gleich Null ausgegangen und angenommen, dass keine Reparaturkosten auftreten.

Minderungsmaßnahmen bei der Gülleausbringung werden in Bezug auf das Referenzsystem "Breitverteiler, Einarbeitung innerhalb von 24 Stunden" bewertet und sowohl für die einzelbetriebliche Ausbringung als auch für den überbetrieblichen Einsatz berechnet. Berücksichtigung finden auch die unterschiedlichen Minderungspotentiale bei der Ausbringung auf Acker und Grünland und in stehende Bestände (nur Schleppschlauch). Für Ausbringungsmengen von 500, 1000 und 3000 m<sup>3</sup> wurden Anschaffungspreise, Reparaturkosten, Arbeitsaufwand beim Befüllen und Entleeren, Fahrzeiten zwischen Hof/Feld und Feld/Hof berücksichtigt. Da die meisten Betriebe alte, noch funktionsfähige Gülletankwagen besitzen, wurde nicht nur ein Vergleich zwischen der Neuanschaffung von Breitverteilern und emissionsmindernder Gülletechnik vorgenommen, sondern zusätzlich ein Vergleich mit alten, abgeschriebenen Tankwagen. Die konkreten Kosten zu den Minderungsmaßnahmen werden in Kapitel 3 beschrieben.

## 2.6 Beschreibung der verwendeten Modelle

Zur Berechnung der Ammoniak-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft werden zwei Modelle eingesetzt. In Teilen handelt es sich eine parallele Programmentwicklung, bei der mit unterschiedlicher Software und unterschiedlichen methodischen Ansätzen vergleichbare Rechenroutinen programmiert wurden. Dies ermöglicht einerseits eine bessere Überprüfung der Rechenergebnisse durch den Vergleich der Resultate beider Programme, andererseits weisen beide Modelle unterschiedliche Stärken, Schwächen und Funktionen auf und ergänzen sich daher in ihrem Einsatz.

Das auf Excel basierende Kalkulationsprogramm GAS-EM ermöglicht einfache und schnelle Anpassungen in der Struktur. Durch die Wahl der Software sind die technischen Voraussetzungen zur Nutzung des Programms leichter zu erfüllen. Komplexe Berechnungsprozeduren sind in Excel allerdings sehr aufwendig zu programmieren und führen zu langen Rechenzeiten, weshalb der Differenzierungsgrad begrenzt ist.

Das Agrarsektormodell RAUMIS ist in FORTRAN programmiert und greift auf eine Reihe von selbst entwickelten Rechenroutinen zurück, die nur an den das Modell betreibenden Instituten zur Verfügung stehen. Daher ist ein unkomplizierter Austausch der Programme zur Emissionsberechnung nicht möglich. Andererseits bietet das agrarökonomische Modell RAUMIS eine bereits entwickelte, leistungsfähige Grundlage für weitere Unterprogramme. In der bestehenden

Modellversion werden die Flächennutzung, Tierhaltung und eine Vielzahl anderer statistischer Quellen zu einer konsistenten Abbildung der deutschen Landwirtschaft zusammengeführt. Das Modell erlaubt eine schnelle Berechnung auch komplexer Kalkulationen und ermöglicht Szenariorechnungen unter Nutzung mathematischer Optimierungsansätze sowie die schnelle Durchführung einer Vielzahl von Variationsrechnungen. Tabelle 2.8 gibt eine Übersicht über den Einsatzbereich der beiden Modelle.

Tab. 2.8: Einsatz der Modelle GAS-EM und RAUMIS im Projekt "Landwirtschaftliche Emissionen"

Einsatzbereich	GAS-EM	RAUMIS
Hochrechnung der Befragungsergebnisse aus Modellregionen	aus RAUMIS übernommen	✓
Schätzungen von Futterrationen und der Wirtschaftsdüngerverteilung nach Flächen und Jahreszeiten	aus RAUMIS übernommen	✓
Berechnung der NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung für zurückliegende Jahre	✓	✓
Berechnung andere NH <sub>3</sub> -Quellen sowie weiterer Spurengasemissionen	✓	
Kostenberechnungen		✓
Sensitivitätsanalysen		✓
Szenariorechnungen		✓

## 2.6.1 Beschreibung des Kalkulationsprogramms GAS-EM : Berechnung von Emissionsinventaren

### 2.6.1.1 Das Berechnungsverfahren

Es ist üblich, Emissionen aus Aktivitäten (Emission explaining variables) und Emissionsfaktoren bzw. -funktionen zu berechnen. Derartige Verfahren werden als "emission factor approach" bezeichnet und sind die Grundlage der derzeitigen Anleitungen zur Herstellung von Emissionsinventaren (IPCC 1997, EMEP/CORINAIR 2000). Grundlegend ist folgende Beziehung für die Berechnung der Emission einer Spezies bei einem vorgegebenen Prozess oder Teilprozess:

$$E_{i,j} = A_{i,j} \cdot FS_{i,j}$$

mit	<i>E</i>	Emission
	<i>A</i>	Aktivität
	<i>FS</i>	sektoraler Emissionsfaktor
	<i>i</i>	Sektor
	<i>j</i>	betrachtete Spezies

Die Aktivitäten (z.B. Tierzahlen oder landwirtschaftliche Flächengrößen), die einem Prozess als quantifizierende Größen zugeordnet sind, und die den Prozess beschreibenden Emissionsfak-

toren müssen streng aufeinander bezogen sein. Die Emissionsfaktoren geben die für den Prozess und die Einheit der Aktivität typischen Emissionen oder Emissionsraten an. Die Verfahren zur Berechnung von Emissionen unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Aufspaltung von Gesamtprozessen in Teilprozesse.

Bei komplexen Prozessen, zu denen Teilprozesse in unterschiedlichen Häufigkeiten beitragen (etwa die  $\text{NH}_3$ -Teilemissionen bei der Milchkuh-Haltung als Folge der Häufigkeit der Fütterungs- und Haltungsverfahren sowie der unterschiedlichen Lagerungs-, Umwandlungs- und Ausbrin- gungsverfahren der anfallenden Wirtschaftsdünger) ist zu berücksichtigen, dass Klassierungen von Verfahren zur Bildung von Mittelwerten nur dann zulässig sind, wenn der Fehler, der durch Aggregation entsteht und berücksichtigt, dass

$$\sum (A_i \cdot FS_i) \neq \sum A_i \cdot \sum FS_i$$

ist, sich in den von der gestellten Frage abhängigen Genauigkeit bewegt. Prozesse bzw. Kate- gorien von Prozessen, deren Anteil an der jeweiligen Gesamtemission groß sind, müssen na- turgemäß weiter aufgespalten werden als solche, die nur als kleiner Summand in die Gesamt- emission eingehen.

Für die Milchkuh-Haltung als großen Summanden etwa wird folgendes Verfahren gewählt (der größeren Übersichtlichkeit wird im folgenden das Stroh-N bei eingestreuten Verfahren hier nicht einbezogen):

a) Emissionen bei der Haltung (im Stall und auf der Weide)

$$E_{dc, hg} = A_{dc} \cdot \sum_{a=1}^n (f_{a, dc} \cdot Ex_{a, dc}) \cdot \left( \sum_{h=1}^m (f_{h, dc} \cdot FS_{h, dc} + f_{g, dc} \cdot FS_{g, dc}) \right)$$

mit  $E_{dc, hg}$  Teilemissionen Haltung und Weidegang aus der Milchkuh- Haltung<sup>2</sup>

$A_{dc}$  Anzahl der Milchkuh-Plätze

$f_a$  Häufigkeit der Ausscheidungs-Klasse a, mit

$$\sum_{a=1}^n f_{a, dc} = 1$$

$Ex_a$  typische Ausscheidung einer Klasse a

$f_h$  Häufigkeit eines Haltungsverfahrens h

$f_g$  Häufigkeit des Weidegangs, mit

$$\sum_{h=1}^m f_{h, dc} + f_g = 1$$

$FS_b$  partieller Emissionsfaktor für Haltungsverfahren h

$FS_g$  partieller Emissionsfaktor für Weidegang

<sup>2</sup> dc: dairy cattle, hg: housing and grazing

b) Emissionen bei der Lagerung

$$E_{st, dc} = \left( A_{dc} \cdot \sum_{a=1}^n (f_{a, dc} \cdot Ex_{a, dc}) - E_{hg, dc} \right) \cdot \sum_{st=1}^p (f_{st, dc} \cdot FS_{st, dc})$$

mit  $f_{st}$  Häufigkeit eines Lagerungsverfahrens  $st^3$ , mit

$$\sum_{st=1}^p f_{st, dc} = 1$$

$FS_{st}$  typischer Emissionsfaktor eines Lagerungsverfahrens  $st$

Der Lagerung von Gülle können Güllaufbereitungsanlagen vor- oder nachgeschaltet sein, die die Zusammensetzung der N-Spezies der Gülle verändern können. Die Verluste der Ausbringung berechnen sich entsprechend den oben genannten Methoden getrennt für Mist, Gülle und Jauche bzw. die Produkte der Güllaufbereitung gemäß

$$E_{sp, dc} = \left( A_{dc} \cdot \sum_{a=1}^n (f_{a, dc} \cdot Ex_{a, dc}) - E_{hg, dc} - E_{st, dc} \right) \cdot \sum_{sp=1}^q (f_{sp, dc} \cdot FS_{sp, dc})$$

mit  $f_{sp}$  Häufigkeit eines Ausbringungsverfahrens  $sp^4$ , mit

$$\sum_{sp=1}^q f_{sp, dc} = 1$$

$FS_{sp}$  typischer Emissionsfaktor eines Ausbringungsverfahrens  $sp$

Die Gesamtemissionen  $E_{dc}$  einer Population von Milchkühen errechnet sich zu

$$E_{dc} = E_{hg} + E_{st} + E_{sp},$$

der mittlere Gesamt-Emissionsfaktor  $FS_{dc}$  zu

$$FS_{dc} = \frac{E_{dc}}{A_{dc}}$$

Emissionsfaktoren können feste Größen sein, sie können aber auch Anteile der noch vorhandenen N-Menge bezeichnen. Bei Emissionsberechnungen für Ammoniak beziehen sich die Faktoren der hier beschriebenen Rechnungen stets auf ammonifizierbares N (total ammonical N, TAN). Voraussetzung für solche Rechnungen sind also Kenntnisse der Aktivitäten A, zahlreicher Häufigkeiten von Ernährungsformen und Haltungsformen etwa der Milchkühe sowie der Lagerungs-, Aufbereitungs- und Ausbringungsformen und der jeweiligen partiellen Emissionsfaktoren. Unterscheiden sich Milchkuh-Populationen hinsichtlich dieser Verteilungen, so werden

---

<sup>3</sup> st: storage

die Rechnungen für solche Populationen einzeln durchgeführt. Verfahren zur Berechnung von Emissionen für die eingangs genannten Protokolle müssen folgenden Gesichtspunkten genügen:

- Sie müssen **hinreichend genau** sein (accuracy). Die Genauigkeit der Berechnungen muss mit Hilfe geeigneter Verfahren quantifiziert werden. Die Ansprüche an die Genauigkeit müssen bekannt sein.
- Die Rechenverfahren müssen für entsprechend Ausgebildete in ihren Einzelheiten **nachvollziehbar** und **nachprüfbar** sein (transparency). Dies wird erreicht, indem überschaubare Datenmengen und Rechengänge auf Arbeitsblättern von Tabellenkalkulationsprogrammen zusammengefasst werden.
- Sind Daten nicht eindeutig bestimmbar - etwa bei Emissionsfaktoren - so wird für alle, die das Verfahren benutzen, **Vergleichbarkeit** der Daten gefordert. Dies setzt eine Konvention über die Daten voraus.
- Werden Emissionsfaktoren für bestimmte Aktivitäten an Teilpopulationen gewonnen, so ist ihre **Repräsentativität** für die Beschreibung der Emissionen größerer Populationen zu überprüfen.
- Alle Einzelschritte des Rechenverfahrens einschließlich der Datengewinnung müssen vollständig **dokumentiert** werden können und dokumentiert werden.

Bei der Bestimmung der Emissionsraten für Ammoniak wird das in Abbildung 2.1 dargestellte Stoffflussschema zugrunde gelegt.

### Kalkulationsblatt (Übersicht)

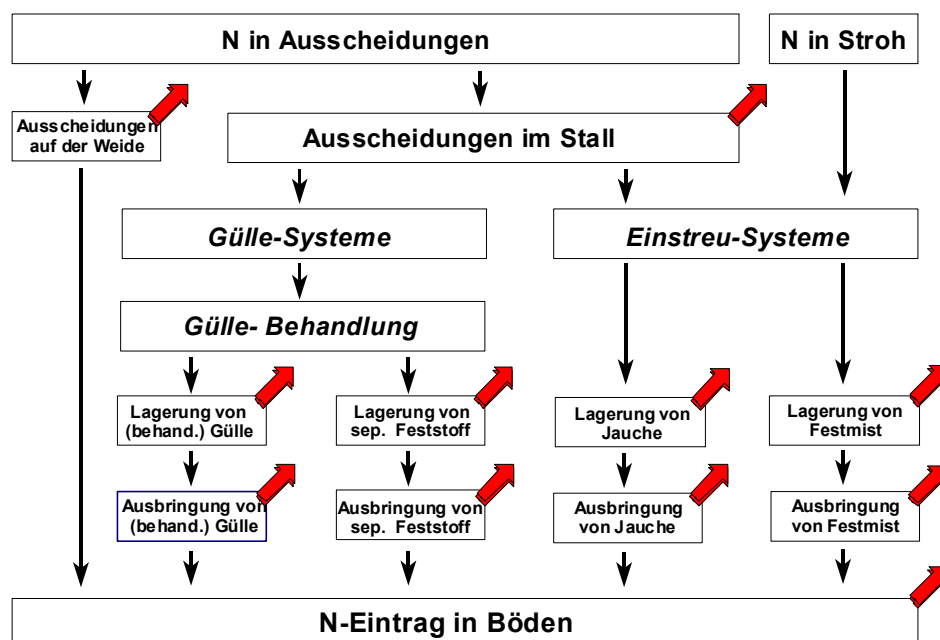


Abb. 2.1: Modell zur Berechnung der Stickstoffdynamik der Ausscheidungen in der Tierhaltung. Schwarze Pfeile geben die N-Flüsse wieder; Rechtecke veranschaulichen Vorräte; schräg nach oben gerichtete Pfeile bezeichnen Emissionsorte

<sup>4</sup> sp: spreading



### 2.6.1.2 Datengewinnung und Datenverarbeitung

Der Ablauf der Berechnung von Emissionen ist in Abbildung 2.1 veranschaulicht:

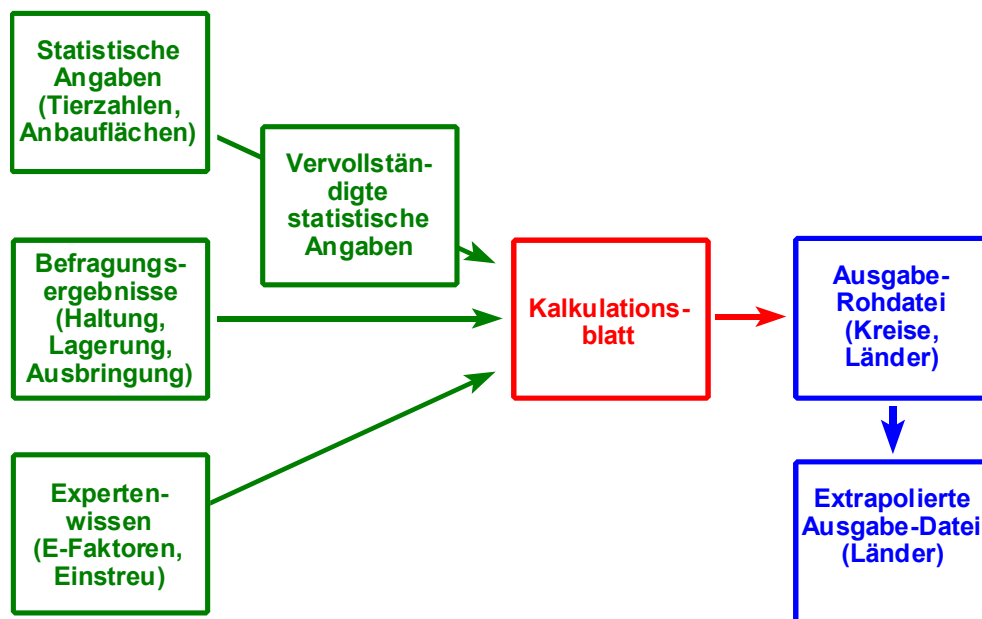


Abb. 2.2: Schema des Ablaufs der Datenverarbeitung während der Berechnung von Emissionsinventaren

Drei unterschiedliche Datenmengen werden zusammengeführt:

- Die **Aktivitätsdaten** (Tierzahlen, Anbauflächen, Düngermengen) werden **offiziellen Statistiken** entnommen. Sie müssen vor der Verwendung auf ihre Plausibilität geprüft werden. Unvollständige Datensätze müssen markiert werden. Je nach Grad der Unvollständigkeit wird die Datenlücke geschlossen oder der Datensatz insgesamt nicht verwertet.
- Die **Häufigkeit von unterschiedlichen Verfahren**, etwa zur Fütterung und Haltung von Tieren, sind in offiziellen Statistiken nicht enthalten. Sie müssen durch gesonderte Methoden, beispielsweise durch **Befragungen** oder modellgestützte Schätzungen, bestimmt werden (vgl. Kapitel 2.6.2.2 zu den in GAS-EM verwendeten Daten aus dem Modell RAUMIS).
- **Expertenwissen** wird gefordert bei der **Beurteilung der Repräsentativität und Vergleichbarkeit** von Literaturdaten und Einzelmessungen, etwa bei typischen Emissionsfaktoren.

Die Zusammenführung der Daten geschieht bei dem hier vorgestellten Verfahren auf der Eingabeseite des **Kalkulationsblattes**. Die Rechenschritte werden nacheinander in übersichtlicher Form auf der Rechenseite des Kalkulationsblattes durchgeführt. Sie sind im einzelnen in der Beschreibung des Programms GAS-EM erläutert. Die Ergebnisse sind als Emissionen und Emissionsfaktoren in Form von Gesamtemissionen und partiellen Emissionen auf der Ausgabeseite des Kalkulationsblattes zusammengefasst.

Die Rechnung liefert Emissionen für diejenigen Teilpopulationen, für welche die Datensätze vollständig oder vervollständigt vorlagen. Insbesondere bei den Arbeiten auf Kreisebene sind diese Emissionen durch Berechnung mittlerer Emissionsfaktoren auf die Gesamtpopulationen

hochzurechnen. Eine ausführliche Dokumentation des Kalkulationsprogramms findet sich in Dämmgen et al. (2002).

## **2.6.2 Beschreibung des eingesetzten Agrarsektormodells RAUMIS**

### **2.6.2.1 Ziele, Methode und Einsatzbereiche des Modells**

Das **R**egionalisierte **A**grar- und **U**mweltinformationssystem für Deutschland (RAUMIS) wurde am Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie (IAP) der Universität Bonn entwickelt. Die aktuelle Version basiert auf einem Kooperationsprojekt, an dem die agrarökonomischen Institute der FAL sowie die Forschungsgesellschaft für Agrarsoziologie und Agrarpolitik e. V. (FAA) beteiligt waren. Eine Einführung in das Agrarsektormodells RAUMIS gibt Weingarten (1995), eine ausführlichere Beschreibung findet sich in Henrichsmeyer et al. (1996).

Zielsetzung des Modellsystems ist die Abbildung und Analyse des deutschen Agrarsektors in tiefer regionaler Untergliederung. Das Modell bildet die bisherige Entwicklung des Agrarsektors ab und kann als Datenbank genutzt werden. Die regionale Abbildung des landwirtschaftlichen Sektors erfolgt dabei in Konsistenz zur landwirtschaftlichen Gesamtrechnung. Die auf den Agrarsektor aggregierte Summe aller regional im Modell abgebildeten, landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, ihres Vorleistungseinsatzes sowie ihrer Verkaufsprodukte, entspricht also den Daten aus der landwirtschaftlichen Gesamtrechnung für Deutschland.

Datengrundlage bilden die landwirtschaftlichen Fachstatistiken auf sektoraler wie auch auf Kreisebene, KTBL-Daten und andere Normdaten zur Beschreibung der Produktionsverfahren sowie Daten der landwirtschaftlichen Gesamtrechnung. Für Projektionen in die Zukunft und im Falle fehlender, statistischer Datengrundlagen wird auch Expertenwissen in die Modellformulierung einbezogen. Die Abbildung zurückliegender Jahre erfolgt auf Grundlage von Dreijahresmitteln in der Periodizität der Bodennutzungshaupterhebung von vier Jahren für die Basisjahre von 1979, 1983, 1987, 1991 und 1995. Das Basisjahr 1999 befindet sich im Aufbau. Das deutsche Wirtschaftsgebiet wird in 326 Modellkreise unterteilt, wobei Stadtkreise zu benachbarten Landkreisen aggregiert werden. Jeder Modellkreis wird als ein landwirtschaftlicher Betrieb (Regionshof) betrachtet. Die landwirtschaftliche Produktion wird prozessanalytisch nach einzelnen Verfahren differenziert. Wechselbeziehungen zwischen den Verfahren, z. B. die Verwendung der pflanzlichen Produktion zu Futterzwecken und die Verwertung von Wirtschaftsdüngern aus der Tierproduktion im Pflanzenbau, werden dabei berücksichtigt.

RAUMIS liefert Folgenabschätzungen für alternative agrar- und umweltpolitische Rahmenbedingungen, wobei zukünftige Entwicklungen von Produktion, Faktoreinsatz und Wertschöpfung sowie Umweltwirkungen abgeschätzt werden können. Der Einsatz von RAUMIS soll dadurch die agrarpolitische Entscheidungsfindung unterstützen. Als Referenzsituation zur Beurteilung der Wirkungen von geänderten Rahmenbedingungen wird in der Regel eine Beibehaltung der derzeitigen Agrarpolitik formuliert (Referenz oder „Baseline“). Dieser Referenz werden anschließend Szenarien, z. B. mit einer höheren Verbreitung emissionsmindernder Technologien, gegenübergestellt.

### **2.6.2.2 Einsatz des Modells RAUMIS im Projekt "Landwirtschaftliche Emissionen"**

Einen Schwerpunkt bei der Weiterentwicklung der Modells RAUMIS bildet die verbesserte Abbildung von Umweltindikatoren. Im Rahmen des Projektes „Landwirtschaftliche Emissionen“ kamen dem Modell die folgenden Funktionen zu:

- Kalkulation von Daten für weitere Berechnungen, die auch im Kalkulationsprogramm GAS-EM verwendet werden:
  - Übertragung von Ergebnissen der Befragung in Modellregionen auf alle Kreise anhand der Gruppierung aus der Clusteranalyse
  - Hochrechnung der Stallhaltungsverfahren aus der Befragung unter Einbeziehung der regionalen Tierbestandsgrößenklassen
  - Abschätzung regionaler Merkmale: Grasanteil am Grundfutter in der Milchvieh-Futtermischung sowie plausible, Verteilung der Wirtschaftsdünger
- Sektorale ex-post- und ex-ante-Rechnungen:
  - Berechnung der Ausgangssituation für die Jahre 1990, 1995, 1996 und 1999 mit einem dem Kalkulationsprogramm GAS-EM vergleichbaren Rechenverfahren
  - Berechnung einer Baseline-Projektion (Referenz) für das Zieljahr 2010
  - Szenariorechnungen: Berechnung einzelner technischer Maßnahmen sowie ausgewählter Kombinationen dieser Maßnahmen
  - Kalkulation sowohl mit temperaturabhängigen, regionalen Emissionsfaktoren für die Gülle- und Jaucheausbringung als auch, zu Vergleichszwecken, mit einheitlichen Emissionsfaktoren für 15 °C
  - Vergleichsrechnungen zur Analyse der Einzelwirkungen des technischen Wandels und veränderter Tierbestandszahlen
  - Sensitivitätsanalysen zur Abschätzung der Bedeutung einzelner Annahmen und Emissionsfaktoren für das Rechenergebnis

Abbildung 2.3 gibt eine Übersicht über die Verwendung des Modells RAUMIS im Rahmen des Forschungsvorhabens:

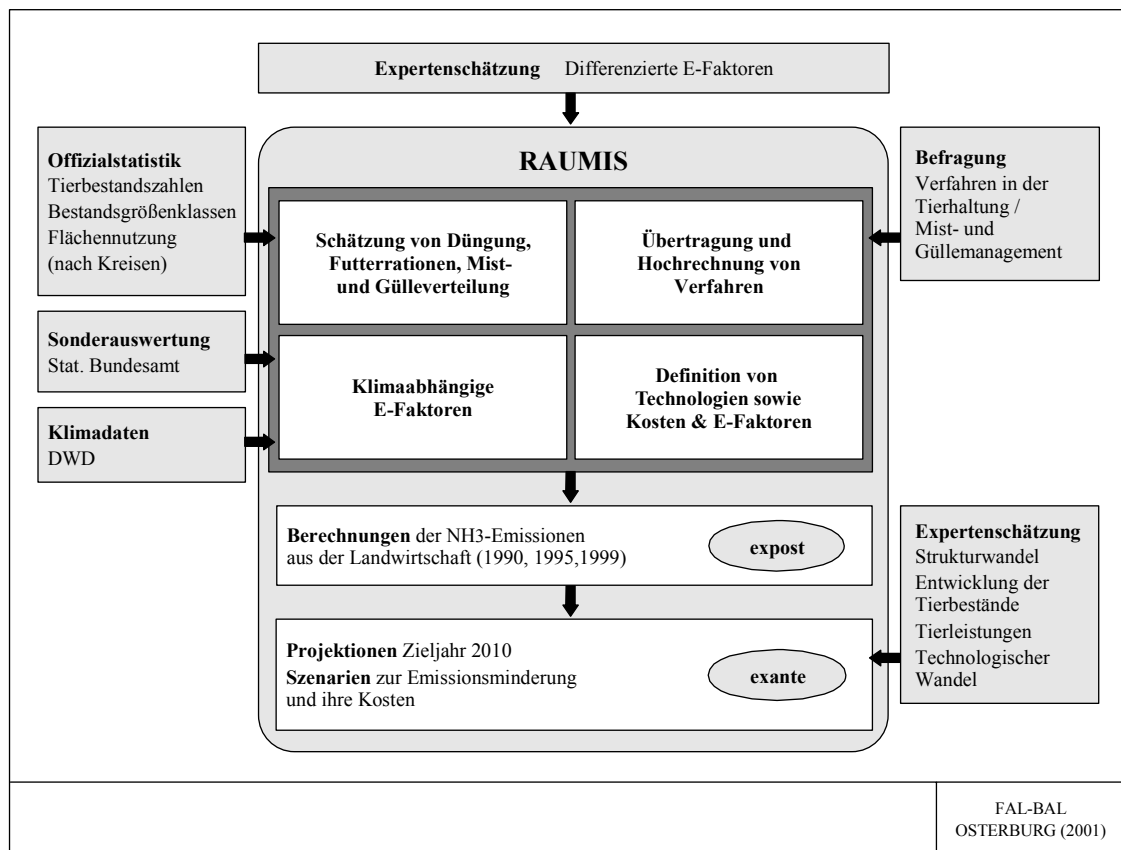


Abb. 2.3: Datengrundlagen und Datenverarbeitung im Modell RAUMIS

## Hochrechnung und Schätzung von Verfahren

### Stallhaltungssysteme

Im Technologie-Modul des Modells RAUMIS werden zunächst die Verfahrensmerkmale aus der Modellregionsbefragung auf die zugehörigen Kreise übertragen. Dabei wurden die Befragungsergebnisse für die Jahre 1990, 2000 und 2010 verwendet. Die Stallhaltungs- und Weideverfahren werden anhand von bis zu sieben Tierbestandsgrößenklassen kreisspezifisch hochgerechnet, um den unterschiedlichen Bestandsstrukturen Rechnung zu tragen. In Tabelle 2.9 sind die dabei verwendeten Bestandsgrößenklassen aufgeführt. Da in der statistischen Datengrundlage häufig datenschutzbedingte Lücken auftreten, sobald eine bestimmte Anzahl von Betrieben je Klasse unterschritten wird, wurden fehlende Werte aus dem jeweiligen Landesdurchschnitt ergänzt.

Tab. 2.9: Berücksichtigte Tierbestandsgrößenklassen in Stallplätzen pro Betrieb nach alten und neuen Ländern

Größenklasse	1	2	3	4	5	6	7
Milchvieh							
Alte Länder	1-9	10-19	20-39	40-49	50-59	> 60	
Neue Länder		1-19	20-39	40-49	50-59	60-100	>100
Bullen (Rinder)							
Alte Länder	1-9	10-19	20-49	50-59	60-99	> 100	
Neue Länder		1-19	20-49	50-59	60-99	100-199	>200
Sauen							
Alte Länder	1-9	10-19	20-49	50-74	75-99	> 100	
Neue Länder	1-9	10-19	20-49	50-74	75-99	> 100	
Mastschweine							
Alte Länder	1-9	10-49	50-99	100-399	400-599	> 600	
Neue Länder		1-49	50-99	100-399	400-599	600-999	>1000

Quelle: eigene Zusammenstellung

Die Hochrechnung der Stallhaltungsverfahren erfolgte ausschließlich aus den Ergebnissen der Modellregionsbefragung. Andere Datenquellen wurden nicht in die Hochrechnung integriert, da sie nicht ausreichend differenziert vorlagen, z. B. nach einzelnen Stallhaltungsformen oder Tiergruppen. Für einen Vergleich mit den Hochrechnungsergebnissen aus RAUMIS wurden aus den Daten der Sonderauswertung des Mist- und Gülleanfalls in landwirtschaftlichen Betrieben durch das statistische Bundesamt für 1995 (vgl. Übersicht A1, Anhang) Werte für den Anteil von Stallmistsystemen am gesamten Wirtschaftsdüngeranfall bei Rindern und Schweinen abgeleitet. Diese sind den in RAUMIS hochgerechneten Befragungsergebnissen für das Jahr 1990 gegenübergestellt. Die unterschiedliche Bezugszeitpunkte sind beim Datenvergleich zu berücksichtigen. Die Differenzen zwischen diesen Daten sind in Tabelle 2.10 aufgeführt. Negative Differenzen zeigen hier eine Unterschätzung, positive eine Überschätzung des Mistanteils an.

Die Werte zeigen, dass die expertenbasierte Hochrechnung in vielen Bundesländern zu einer Unterschätzung des Mistanteils führt. In Baden-Württemberg und Bayern sowie bei Schweinen auch in den neuen Ländern liegt eine Überschätzung vor. Sektoral gleichen sich diese Abweichungen aber weitgehend aus. Die Hochrechnung auf Grundlage der Expertenschätzungen für das Jahr 2000 führt zu einem Mistanteil, der sektoral 6-8 % unter den statistischen Angaben für 1995 liegt. Da durch den Strukturwandel und technischen Fortschritt zwischen den Jahren 1995 und 2000 der Mistanteil weiter zurückgegangen sein dürfte, erscheint diese größere Abweichung plausibel.

Tab. 2.10: Vergleich der von Experten geschätzten und in RAUMIS hochgerechneten Anteile von Mistsystemen für das Jahr 1990 im Vergleich zu ausgewerteten Daten des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 1995

	Rinder			Schweine		
	Hochge- rechnete Experten- schätzung	Statist. Bundes- amt	Differenz	Hochge- rechnete Experten- schätzung	Statist. Bundesamt	Differenz
Anteil der Stall- plätze mit Mist- system an allen Stallplätzen (%)	% (1990)	% (1995)	Prozent- punkte	% (1990)	% (1995)	Prozent- punkte
<b>Schleswig-Holstein</b>	12	30	-18	10	15	-5
<b>Niedersachsen</b>	16	34	-17	8	11	-3
<b>Nordrhein- Westfalen</b>	23	35	-12	8	20	-12
<b>Hessen</b>	37	54	-17	47	41	6
<b>Rheinland-Pfalz</b>	45	44	0	34	39	-5
<b>Baden- Württemberg</b>	39	34	6	37	33	4
<b>Bayern</b>	39	24	15	46	31	15
<b>Saarland</b>	42	53	-11	45	33	11
<b>Brandenburg</b>	60	60	0	28	7	21
<b>Mecklenburg- Vorpommern</b>	60	58	1	37	16	21
<b>Sachsen</b>	40	57	-17	15	12	3
<b>Sachsen-Anhalt</b>	48	43	4	24	31	-7
<b>Thüringen</b>	38	53	-14	21	6	15
<b>Alte Länder</b>	29	32	-3	20	21	-2
<b>Neue Länder</b>	50	55	-5	26	15	11
<b>Deutschland</b>	34	37	-3	22	20	2

Quelle: In RAUMIS hochgerechnete Ergebnisse der Befragung in Modellregionen; Sonderauswertung des Mist- und Gülleanfalls in landwirtschaftlichen Betrieben nach Regierungsbezirken durch das Statistische Bundesamt für 1995

Tabelle 2.11 zeigt die RAUMIS-Schätzungen zusätzlich im Vergleich zu Schätzungen des KTBL auf Länderebene für 1999, daneben sind die Daten des Statistischen Bundesamtes für 1995 noch einmal aufgeführt. Der Vergleich der Zahlen zeigt wiederum, dass der Stallmistanteil durch die in RAUMIS hochgerechnete Expertenschätzung niedriger eingeschätzt wird, deutlich werden aber auch die Abweichungen der KTBL-Schätzungen. Die Abweichungen der Werte der in RAUMIS hochgerechneten Modellkreisergebnisse sowie der KTBL-Schätzung für Wirtschaftsdüngeraufkommen von den Daten des statistischen Bundesamtes auf Länderebene wurden quadriert. Die auf dieser Basis berechnete Schätzgüte fällt bei RAUMIS für die Rinder besser aus als die KTBL-Schätzung, während bei Schweinen die KTBL-Schätzung geringere Abweichungen zu den Daten des statistischen Bundesamtes aufweist.

Tab. 2.11: Vergleich der von Experten geschätzten und in RAUMIS hochgerechneten Anteile von Mistsystemen für das Jahr 1999 im Vergleich zu KTBL-Expertenschätzungen für das Jahr 1999 und ausgewerteten Daten des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 1995

	<b>Rinder</b>			<b>Schweine</b>		
	Hochger.	KTBL-	Statist.	Hochger.	KTBL-	Statist.
	Experten-	Schätzung	Bundesamt	Experten-	Schätzung	Bundesamt
	schätzung RAUMIS			schätzung RAUMIS		
	<b>1999</b>	<b>1999</b>	<b>1995</b>	<b>1999</b>	<b>1999</b>	<b>1995</b>
<b>Schleswig-Holstein</b>	14	27	30	5	14	15
<b>Niedersachsen</b>	14	12	33	3	13	11
<b>Nordrhein-Westfalen</b>	21	28	35	4	16	20
<b>Hessen</b>	31	30	54	35	32	41
<b>Rheinland-Pfalz</b>	38	32	44	27	40	39
<b>Baden-Württemberg</b>	33	49	33	22	26	33
<b>Bayern</b>	28	25	24	28	29	31
<b>Saarland</b>	39	32	53	36	56	33
<b>Brandenburg</b>	44	53	60	44	30	7
<b>Mecklenburg-VP</b>	39	26	58	39	16	16
<b>Sachsen</b>	46	50	57	13	17	12
<b>Sachen-Anhalt</b>	34	66	43	18	38	31
<b>Thüringen</b>	44	56	53	10	35	6
<b>Deutschland</b>	27	31	36	14	20	20

*Quelle: In RAUMIS hochgerechnete Ergebnisse der Befragung in Modellregionen; KTBL-Schätzungen für das Wirtschaftsdüngeraufkommen; Sonderauswertung des Mist- und Gülleanfalls in landwirtschaftlichen Betrieben nach Regierungsbezirken durch das Statistische Bundesamt für 1995*

Ein anderer Vergleich war anhand der vom ATB ausgewerteten DDR-Bausubstanzanalyse aus dem Jahr 1987 für die Stallstrukturen in der ehemaligen DDR möglich. Bedingt durch die unterschiedlichen Bezugszeitpunkte ergaben sich erhebliche Abweichungen zwischen den Hochrechnungen in RAUMIS und den Informationen über die Stallstrukturen. In der RAUMIS-Hochrechnung werden die Mistanteile gegenüber der Situation 1987 gerade bei Kühen und Mastschweinen deutlich höher eingeschätzt. Allerdings ist nicht bekannt, welche Stallstrukturen im Jahr 1990 in der Phase des starken Viehbestandsabbaus in den neuen Ländern noch genutzt wurden, weshalb die Daten der Bausubstanzanalyse nicht verwendet wurden.

Weiterhin erlauben die Daten des Statistischen Bundesamtes eine Analyse der Abhängigkeit von Mist- und Güllesystemen von der Bestandsgrößenklasse. Die Daten belegen die Annahme, dass die Bestandsgröße eine entscheidende Rolle bei der Ausprägung der Stallhaltungsformen spielt. In Abbildung 2.4 wird dieser Zusammenhang für die Rinder und Schweinehaltung anhand von Durchschnittswerten dargestellt. Die vorgestellte Methode der Hochrechnung von Verfahrensmerkmalen anhand der Bestandsgrößenklassen zur Ergänzung fehlender Daten, insbesondere der Anteile von Mist- und Güllesystemen, erscheint somit begründet.

Eine Unterschätzung des Mistanteils führt bei der Emissionsberechnung zu geringeren Werten. Die Wirkungen der offenbar bestehenden, z. T. größeren, regionalen Abweichungen werden in

Kapitel 4.2 diskutiert. Wie der Vergleich mit den Daten der Sonderauswertung des Statistischen Bundesamtes zeigt, führt die RAUMIS-Schätzung der Mistanteile auf sektoraler Ebene aber nur zu geringen Abweichungen.

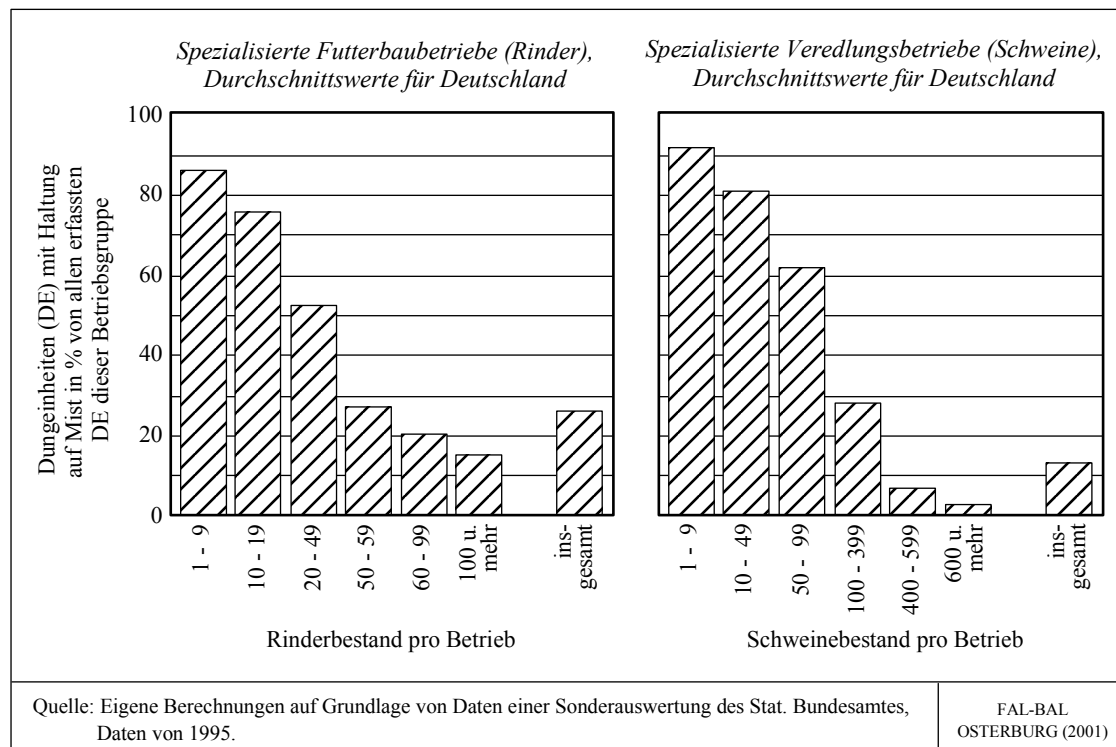


Abb. 2.4: Bedeutung von Haltungssystemen mit Stallmist in Abhängigkeit von der Bestandsgrößenklasse

### Futterrationen beim Milchvieh

Zur Kalkulation der Emissionen aus der Milchviehhaltung soll der Rationsanteil von Gras, Heu und Grassilage an der gesamten Grundfutter-Trockenmasse geschätzt werden, da dieser Parameter einen Einfluß auf die N-Ausscheidung hat. Für die Berechnungen wird in Anlehnung an die Musterverwaltungsvorschrift für den Vollzug der Düngeverordnung und den hier angenommenen Rationen und N-Ausscheidungen von Milchvieh in Acker- und Grünlandregion davon ausgegangen, dass sich die Stickstoffausscheidung von Milchvieh bei einem Grasanteil von 75 % und mehr an der Grundfutter-Trockenmasse um 12,7 % gegenüber einem Grasanteil von 35 % erhöht. Eine einfache Übertragung der Befragungsergebnisse aus den Modellregionen ist für dieses Merkmal aber nicht plausibel, da die Rationsanteile von den regionalen Grundfutterflächen und Tierbeständen bestimmt werden und stark variieren können. Daher konnten die Expertenschätzungen nicht für eine Übertragung auf alle Kreise genutzt werden. Für die Berechnung der Stickstoffausscheidung von Milchvieh wurden in RAUMIS mit einer einheitlichen Methode geschätzte Rationsanteile für das Jahr 1995 verwendet. Diese Werte wurden auch für alle anderen Jahre verwendet.

In RAUMIS werden auf Basis der regionalen Grundfutterflächen, Erträge und des kreisspezifischen Futterbedarfs in der Tierhaltung Futterrationen für die Rinderhaltung geschätzt. Dabei wird sichergestellt, dass das in der Officialstatistik ausgewiesene, regionale Grundfutteraufkommen verfüttert wird, wobei die Silomaisproduktion bevorzugt in der Bullenmast Verwendung findet. Milchvieh erhält dort besonders viel Silomais, wo wenig Grünland vorhanden ist und



auch nach Abdeckung des Futterbedarfs von Mastbullen noch Silomais zur Verfügung steht. In Tabelle 2.12 werden die Ergebnisse der RAUMIS-Berechnungen mit den Expertenschätzungen aus der Modellregionsbefragung verglichen. Zum Teil sind erhebliche Abweichungen zwischen den Expertenschätzungen für die Modellregionen und den RAUMIS-Ergebnissen zu beobachten. Im Durchschnitt wird in RAUMIS der Grasanteil in der Ration höher eingeschätzt. In Ackerbauregionen mit mehr als 1,5 Milchkühen pro Hektar Dauergrünland liegt der Rationsanteil dabei deutlich niedriger als in grünlandreicheren Kreisen. Im Kreis Cloppenburg hat der überdurchschnittlich hohe Anteil an Mastbullen am Rinderbestand zur Folge, dass Silomais nach den RAUMIS-Kalkulationen vor allem in der Bullenmast verwendet wird.

Die in RAUMIS geschätzten Rationsanteile und die auftretenden Unterschiede zwischen den Regionen erscheinen somit plausibel. Die Wirkung dieser Rationsschätzungen auf die Höhe der berechneten Emissionen wird in Kapitel 4.2 diskutiert, Fragen der Fortschreibung der Rationsanteile werden in Kapitel 6.1 behandelt.

Tab. 2.12: Vergleich der von Experten geschätzten Rationsanteile von Gras, Heu und Grassilage an der Grundfutter-Trockenmasse und den geschätzten Werten aus RAUMIS

<b>Modellregion</b>	<b>Milchkühe pro ha Grünland</b>	<b>Expertenschätzung</b>			<b>RAUMIS- Schätzung</b>
	<b>1995</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>1995</b>
<b>Rotenburg (Wümme)</b>	0,92	55	50	50	83
<b>Cloppenburg</b>	1,32	50	50	50	95
<b>Oberbergischer Kreis</b>	0,78	98	95	90	95
<b>Bitburg-Prüm</b>	0,89	79	75	68	96
<b>Vogelsbergkreis</b>	0,70	83	80	78	87
<b>Coburg</b>	1,61	60	55	50	66
<b>Ravensburg</b>	1,26	85	80	75	90
<b>Rosenheim</b>	1,21	75	75	73	64
<b>Müritz</b>	0,78	73	50	30	78
<b>Leipziger Land</b>	2,21	85	33	33	43
<b>Westerzgebirgskreis</b>	0,78	95	50	.	97
<b>Ungewichteter Mittelwert aus 11 Kreisen</b>		76	63	54	75
<b>Ungewichteter Mittelwert aus 9 Kreisen (nur alte Länder)</b>		73	70	67	85

Quelle: Ergebnisse der Befragung in Modellregionen; RAUMIS

## Gülleverteilung

Bestandteil der Befragung war auch die Verteilung von Rinder- und Schweinegülle nach Jahreszeiten und der Gülleanteil, der auf unbewachsene Ackerflächen ausgebracht wird und daher eine schnelle, emissionsmindernde Einarbeitung erlaubt. Informationen über die jahreszeitliche Verteilung sind wiederum eine Voraussetzung dafür, mit nach Temperatur differenzierten E-Faktoren für die Ausbringung zu rechnen. Diese Ausbringungsmerkmale hängen stark von regi-

onalen Gegebenheiten wie der zur Verfügung stehenden Fläche für die Ausbringung ab. Daneben spielt die Lagerkapazität eine entscheidende Rolle für die jahreszeitliche Verteilung. Dies spiegelt sich auch in den Experteneinschätzungen aus den Modellregionen wieder, die mit zunehmender Lagerdauer einen wachsenden Anteil der Gülleausbringung im Frühjahr angenommen haben (vgl. Tab. 2.13).

Aufgrund der starken Abhängigkeit der Verfahren vom regionalen Tierbestand und der Flächennutzung führt eine einfache Übertragung der Expertenschätzungen auf andere Regionen zu nicht plausiblen Werten. Daher wurde in RAUMIS eine Schätzungsroutine zur Wirtschaftsdüngerverteilung programmiert, die Annahmen zur Verteilung nach Flächen und Jahreszeiten an die regionalen Gegebenheiten anpasst. In den weiteren Emissionsberechnungen wurden diese Werte verwendet.

Statistiken zur tatsächlichen Wirtschaftsdüngerausbringung liegen nicht vor, und auch regional begrenzte Erhebungen sind selten. Um flächendeckende, plausible Annahmen über die Gülleverteilung in Bezug auf Jahreszeiten und Flächenarten zu erhalten, wurde in RAUMIS ein Verteilungsalgorithmus zur kreisspezifischen Verteilungsschätzung anhand des regionalen Wirtschaftsdüngeraufkommens, der Güllelagerkapazität und der Flächennutzung entwickelt. Dafür wurde Literatur zum Gülleeinsatz ausgewertet und zusammengefasst. Die Annahmen wurden in der FAL und mit dem KTBL diskutiert. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

**Schritt 1:** Kalkulation des Anfalls von Wirtschaftsdünger nach Tierart. Es werden Gülle, Mist und Jauche unterschieden, Wirtschaftsdünger von Rindern, Schafen und Pferden wird zusammen berechnet, Geflügeldung zusammen mit Wirtschaftsdünger von Schweinen.

**Schritt 2:** Kalkulation des N-Düngerbedarfs der Pflanzenproduktion nach Kulturart

**Schritt 3:** Verteilung des Wirtschaftsdüngers auf Grundlage der folgenden Annahmen:

- Grundlegende Annahme ist eine Verteilung des Wirtschaftsdüngers nach anrechenbarer N-Menge in der landwirtschaftlichen Praxis. Kulturen mit guter Verwertung von Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern erhalten dabei bevorzugt Wirtschaftsdünger gegenüber Kulturen mit schlechter Verwertung oder mit Problemen bei der pflanzenbaulichen Bestandsführung wie z. B. Winterweizen.
- **Annahme 1:** Maximale angerechnete Wirtschaftsdüngereinsatzmenge:  
Annahme einer in der landwirtschaftlichen Praxis bestehenden Obergrenze für die Anrechnung von N aus Wirtschaftsdünger: Tabelle mit den maximal anrechenbaren Mengen an verfügbarem N aus Wirtschaftsdünger nach Kulturart (in % des Gesamt-N-Bedarfs). Winterweizen erhält nach dieser Annahme z. B. höchstens 50 % des Stickstoffs aus Rindergülle, und zwar zur Vermeidung von Überdüngungsschäden und um eine pflanzenbauliche Bestandsführung durch ergänzende Mineraldüngung zu ermöglichen. Bei Schweinegülle mit kalkulierbarer Düngungswirkung liegt dieser Wert etwas höher. Bei Kulturarten wie Mais können verbleibende Überschüsse "entsorgt" werden (vgl. Annahme 2)
- **Annahme 2:** Rangfolge bei der Gülle- und Mistausbringung:  
Der Wirtschaftsdünger wird in einer Rangfolge verteilt, die sich aus der besten Verwertung nach Kulturpflanzenarten ableitet. Die Ausbringung erfolgt jeweils bis zur Höhe der maximal anrechenbaren N-Mengen. Jauche wird wie Gülle verteilt, für Mist wurde eine eigene Rangliste von Kulturarten aufgestellt. Eventuell verbleibende Dungüberschüsse werden auf be-

stimmte, tolerantere Kulturen wie z. B. Silomais oder Grünland verteilt.

- **Annahme 3:** Bevorzugte Monate für die Gülleausbringung:  
Die mögliche Gülleausbringung wird nach Kulturart und Monaten differenziert. Daraus werden zwei Rangfolgen, für das Frühjahr sowie für Sommer/Herbst, abgeleitet.
- **Annahme 4:** Anrechenbare N-Mengen aus Wirtschaftsdünger:  
In der landwirtschaftlichen Praxis wird nicht der gesamte Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern auf den Nährstoffbedarf der Kulturen angerechnet, sondern nur ein Teil. Die hier unterstellte, in der Praxis relevante Anrechenbarkeit des N aus Wirtschaftsdünger hängt ab vom  $\text{NH}_3$ -Gehalt der Gülle, Verlusten im Stall und bei der Lagerung, der jeweiligen Kulturart und ihrer N-Verwertung sowie dem Monat der Ausbringung. Als Standard-Ausbringungstechnik wurde Breitverteiltertechnik angenommen. Die insgesamt anrechenbare N-Menge ergibt sich aus der Verknüpfung der anrechenbaren N-Menge nach Kultur und Jahreszeit multipliziert mit dem anrechenbaren, maximalen N-Anteil nach Art des Wirtschaftsdüngers. Eine Rindergülle zu Silomais im April ergibt z. B. eine maximale Wirksamkeit von 35% des gesamten Stickstoffs, die sich aus 100% Anrechenbarkeit zu Silomais im Frühjahr und 35% anrechenbarem Stickstoff in Rindergülle berechnet.
- **Annahme 5:** Zeitliche und flächenbezogene Restriktionen für die Ausbringung:  
Aus der Lagerkapazität und der Notwendigkeit, im Herbst das Lager zu leeren, werden Restriktionen zur zeitlichen Verteilung des Wirtschaftsdüngers (bes. Gülle/Jauche) abgeleitet. Die bessere N-Wirksamkeit im Frühjahr läßt eine möglichst hohe Ausbringsmenge im Frühjahr plausibel erscheinen, welche wiederum durch die Lagerkapazität begrenzt wird. Für das Frühjahr wird daher eine Gülleausbringungsmenge in Höhe der Lagerkapazität plus der von März bis Mitte April anfallenden Menge angenommen. Zum Mai ist das Güllelager leer, und vor Beginn der Güllelagerung im Winterhalbjahr, spätestens im Oktober/November, muss das Güllelager wieder leer sein. Bei Weidegang fallen im Sommerhalbjahr entsprechend geringere Dungmengen zur Ausbringung an. Durch diese Vorgaben läßt sich eine zeitliche Verteilung in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer und vom Dunganfall schätzen.  
Eine weitere Restriktion betrifft die regional für die Ausbringung zur Verfügung stehende Fläche. Unter der Annahme, dass in Futterbaubetrieben in erster Linie eine innerbetriebliche Dungverwertung stattfindet, wurde die Viehbesatzdichte in Dungeinheiten auf Regierungsbezirksebene aus der Sonderauswertung des Statistischen Bundesamts als Wert für die zur Verfügung stehende Fläche genutzt. Für Futterbaubetriebe (Rinder, Schafe, Pferde) stehen annahmegemäß zunächst Grünland, Silomais, Luzerne, Klee und Feldgras zur Verfügung. Wird mit diesen Flächen die regionstypische Viehbesatzdichte noch nicht erreicht, werden weitere Ackerflächen nach durchschnittlichem Flächennutzungsmuster des jeweiligen Kreises hinzugezählt, allerdings ohne Körnermais (CCM), der den Schweinen zugerechnet wird. Für die Ausbringung von Mist und Jauche steht ein proportionaler Anteil der berechneten Fläche zur Verfügung, nicht jedoch z. B. die gesamte Silomaisfläche eines Kreises, sondern auch hier nur ein Anteil. Für Schweine und Geflügel stehen die restlichen Ackerflächen für die Ausbringung zur Verfügung, bis zu einer den Futterbaubetrieben vergleichbaren Viehbesatzdichte. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass der Dung aus Veredlungsbetrieben in höherem Umfang in Ackerbaubetriebe exportiert wird.

Die Verteilung wird unter Berücksichtigung der genannten Annahmen differenziert nach Jahreszeiten (Februar - Mitte April, Mitte April - Mai, Juli - Mitte September, Mitte September- Ende Oktober) und nach Flächen (unbewachsene Ackerfläche, bewachsene Ackerfläche, Grünland) berechnet. Die Berechnungsergebnisse werden in Tabelle 2.13 den Ergebnissen der Experten-

befragung für die Modellregionen gegenüber gestellt. Die Annahmen zur Lagerdauer wurden in RAUMIS übernommen, die jahreszeitliche Verteilung und der Anteil unbedeckten Bodens unabhängig von den Expertenaussagen geschätzt. Ein Vergleich der beiden Schätzungen zeigt, dass in RAUMIS die Ausbringung im Frühjahr gegenüber den Expertenschätzungen höher eingeschätzt wird, die Ausbringung im Sommer und Herbst dagegen niedriger. Da im Frühjahr und Herbst vergleichbare Temperaturen herrschen, kommt es nur zu geringfügigen Abweichungen der temperaturabhängigen Emissionsfaktoren. Das Ergebnis würde durch eine falsche Einschätzung der Herbstausbringung daher nicht wesentlich beeinflusst. Die Sommerausbringung dagegen führt bei höheren Temperaturen zu höheren Emissionen. Die Abweichungen für die Ausbringung im Sommer betragen bei Rinder- und Schweinegülle nur 5-6 Prozentpunkte von der Gesamtverteilung, nur für Rindergülle im Jahr 2010 liegt die Abweichung bei 14 Prozentpunkten. Die Standardabweichung der Differenz zwischen Expertenschätzung und RAUMIS-Kalkulationen in Prozentpunkten gibt einen Hinweis über die Streuung der Schätzungsunterschiede. Unter der Annahme von Normalverteilung liegen über zwei Drittel aller Abweichungen der Schätzwerte zum Ausbringungsanteil im Sommer in einem Intervall von plus/minus 8-13 Prozentpunkten.

Erheblich größer sind die Abweichungen der Schätzung für den Anteil der auf unbedeckten Boden ausgebrachten Gülle. In RAUMIS wird dieser Anteil durch die hohe Priorität, die den Hackfrüchten bei der Ausbringung gegeben wird, gegenüber den Expertenaussagen wesentlich höher eingeschätzt. Auch die Streuung der Abweichungen ist hier viel größer, bleibt aber über die drei Jahre weitgehend konstant. Dagegen steigt die Differenz zwischen den Schätzwerten, ausgehend von geringeren Abweichungen im Jahr 1990, im Jahr 2000 (für RAUMIS: 1999), stark an. Die Schätzunterschiede sind darauf zurückzuführen, dass in RAUMIS vor allem bisheriges Verteilungsverhalten abgebildet wird. In empirischen Erhebungen zeigt sich eine deutliche Bevorzugung der Hackfrüchte, die eine Ausbringung auf unbedecktem Boden vor der Aussaat ermöglichen. Daneben wird im Sommer ein großer Teil des Wirtschaftsdüngers auf die Getreidestoppel ausgebracht.

Die von den Experten erwartete Abnahme der Ausbringung auf unbedeckten Boden kann mit drei Entwicklungen begründet werden: Einerseits führt eine veränderte Flächennutzung mit einer Zunahme des Wintergetreideanteils an der Fruchtfolge zu einer Einschränkung der Ausbringungsmöglichkeiten. Die erwartete Verlagerung der Ausbringung ins Frühjahr führt zu einer Abnahme der Ausbringung auf die Stoppel (unbewachsener Boden). Der zunehmende Einsatz neuer Ausbringungstechnologie, insbesondere mit Schleppschlauch, ermöglicht eine bessere Ausbringung auch in Wintergetreide, also vermehrt auf bewachsene Böden. In RAUMIS wurde dieser technologisch bedingte Trend zur Ausbringung in wachsende Kulturen nicht berücksichtigt. Eine bessere Kalibrierung des Modells in Bezug auf die Gülleverteilung nach Kulturen sollte künftig angestrebt werden, war aber nicht im Rahmen dieses Projektes möglich.

Die Ausbringung auf wachsende Kulturen im Frühjahr kann zwar zu einer besseren Verwertung der Gullenährstoffe führen, da die Ausbringung aber auf bewachsenen Boden erfolgt, kann dies gleichzeitig zu einer Erhöhung der NH<sub>3</sub>-Emissionen führen, weil keine Einarbeitung möglich ist. In RAUMIS führen die höheren Anteile der Ausbringung auf unbedeckte Böden tendenziell dazu, dass die Emissionsschätzung geringer ausfällt. Die Wirkung der beschriebenen RAUMIS-Schätzung auf die Ergebnisse wird in Kapitel 4.2 diskutiert.

Tab. 2.13: Vergleich der von Experten geschätzten Verteilung von Gülle und den geschätzten Werten aus RAUMIS

<b>Rindergülle</b>		<b>Experten- schätzung</b>	<b>RAUMIS- Schätzung</b>	<b>Differenz</b>	<b>Standard- abweichung</b>
<b>11 Kreise</b>		<b>ungewichteter Mittelwert</b>		<b>%-Punkte</b>	<b>(der %-Punkte)</b>
<b>1990</b>					
Gütlagerkapazität	(Monate)	4	4		
Ausbringung im Frühjahr: Feb.-Mai (%)		46	59	13	14
Ausbringung im Sommer: Juni-Sept. (%)		31	25	-5	10
Ausbringung im Herbst: Okt.-Nov. (%)		23	16	-7	13
Anteil auf unbedeckten Boden (%)		40	45	5	21
<b>2000</b>					
Gütlagerkapazität	(Monate)	5	5		
Ausbringung im Frühjahr: Feb.-Mai (%)		53	76	23	10
Ausbringung im Sommer: Juni-Sept. (%)		27	22	-6	8
Ausbringung im Herbst: Okt.-Nov. (%)		20	2	-17	9
Anteil auf unbedeckten Boden (%)		30	47	17	22
<b>2010</b>					
Gütlagerkapazität	(Monate)	7	7		
Ausbringung im Frühjahr: Feb.-Mai (%)		56	86	29	13
Ausbringung im Sommer: Juni-Sept. (%)		28	14	-14	12
Ausbringung im Herbst: Okt.-Nov. (%)		16	0	-15	9
Anteil auf unbedeckten Boden (%)		23	37	14	19
<b>Schweinegülle</b>		<b>Experten- schätzung</b>	<b>RAUMIS- Schätzung</b>	<b>Differenz</b>	<b>Standard- abweichung</b>
<b>10 Kreise</b>		<b>ungewichteter Mittelwert</b>		<b>%-Punkte</b>	<b>(der %-Punkte)</b>
<b>1990</b>					
Gütlagerkapazität	(Monate)	5	5		
Ausbringung im Frühjahr: Feb.-Mai (%)		49	57	9	21
Ausbringung im Sommer: Juni-Sept. (%)		27	33	6	8
Ausbringung im Herbst: Okt.-Nov. (%)		25	10	-15	18
Anteil auf unbedeckten Boden (%)		56	64	9	36
<b>2000</b>					
Gütlagerkapazität	(Monate)	6	6		
Ausbringung im Frühjahr: Feb.-Mai (%)		55	69	14	13
Ausbringung im Sommer: Juni-Sept. (%)		26	31	5	9
Ausbringung im Herbst: Okt.-Nov. (%)		20	0	-20	11
Anteil auf unbedeckten Boden (%)		37	66	29	36
<b>2010</b>					
Gütlagerkapazität	(Monate)	8	8		
Ausbringung im Frühjahr: Feb.-Mai (%)		57	80	24	17
Ausbringung im Sommer: Juni-Sept. (%)		26	20	-6	13
Ausbringung im Herbst: Okt.-Nov. (%)		18	0	-18	10
Anteil auf unbedeckten Boden (%)		28	50	23	37

Quelle: Ergebnisse der Befragung in Modellregionen; RAUMIS

## Schätzung temperaturabhängiger Emissionsfaktoren

Eine wichtige emissionsmindernde Maßnahme kann die zeitliche Verlagerung der Dungausbbringung ins Frühjahr sein, was aufgrund geringerer Temperaturen zu niedrigeren Emissionen führt. Für die Berechnung von temperaturabhängigen Emissionsfaktoren für die Ausbringung von Gülle und Jauche wurden die Wetterstationen, für die Daten des Deutschen Wetterdienstes vorliegen, anhand einer Klimakarte benachbarten Kreise zugeordnet, um einen flächendeckenden Klimadatensatz zu erhalten (Dierke Weltatlas 1992). In RAUMIS wurden anschliessend für die vier unten aufgeführten Ausbringungszeiträume die durchschnittliche Temperatur und angepasste E-Faktoren berechnet. Die E-Faktoren für Werte zwischen 5 und 25 °C wurden dabei aus den vorliegenden E-Faktoren für 5, 10, 15 und 25 °C linear interpoliert (vgl. Kapitel 3.3). Bei Temperaturen unter 5 °C wurde mangels besserer Daten der Wert für 5 Grad gesetzt. Als Referenzwert aus den Klimadaten wurden das Monatsmittel der Bodenoberflächentemperatur gewählt, da dieser Wert für die Ammoniakverflüchtigung entscheidend ist. Die Mittelwerte wurden nur für Tage mit einer Windgeschwindigkeit unter 5,5 Meter/Sekunde und einer Sonnenscheindauer unter 3 Stunden/Tag berechnet. Dies entspricht den übereinstimmend in allen Modellregionen genannten Wetterbedingungen für die Gülleausbringung, nämlich möglichst wenig Wind und bedeckter Himmel. Wie Abbildung 2.5 zeigt, erreichen die Werte der Bodenoberflächentemperatur besonders im Sommerhalbjahr höhere Werte als der Mittelwert der Tagestemperatur. Verglichen mit den Werten für Tage mit stärkerem Wind oder längerer Sonnenscheindauer sind aber keine wesentlichen Unterschiede zu beobachten.

Die folgenden Ausbringungszeiträume werden unterschieden:

- Frühjahr 1: Mitte Februar bis Mitte April
- Frühjahr 2: Mitte April bis Mitte Mai
- Sommer: Mitte Juli bis Mitte September
- Herbst: Mitte September bis Oktober

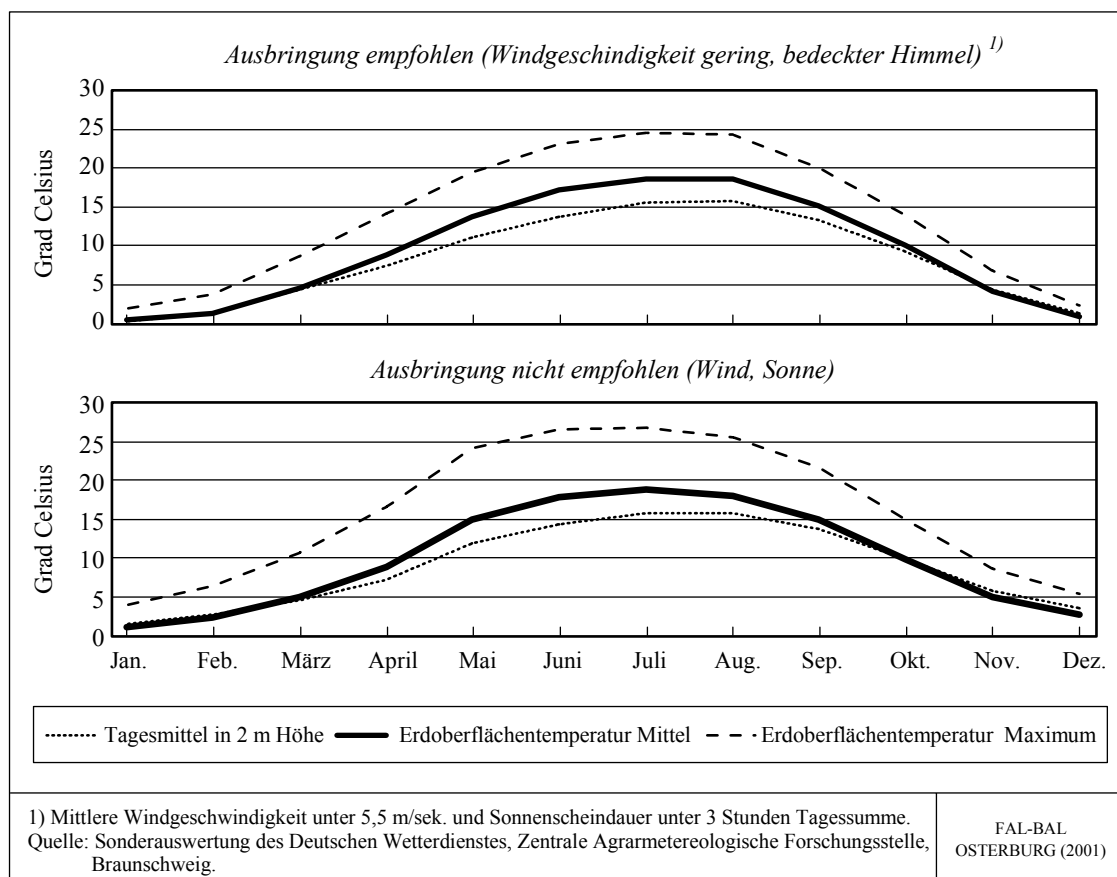


Abb. 2.5: Vergleich der Tagesmittel (2m Höhe), Bodentemperaturmittel und Bodentemperaturmaxima für 20 Wetterstationen

### Abbildung der Tierhaltung und Berechnung von $\text{NH}_3$ -Emissionen

Die Abbildung der Tierhaltung, die Verfahrensdifferenzierung und die N-Ausscheidungen sind in Tabelle 2.14 dargestellt. Neben den Daten des Statistischen Bundesamtes werden für 1990 Daten aus Sondererhebung in den neuen Ländern auf Kreisebene nach dem damaligen Gebietsstand verwendet. Die Kreisreformen in den neuen Ländern zwischen 1994 und 1996 erschweren den Einsatz einheitlicher Programmroutinen. Daher wurden die Daten für die neuen Länder anhand der Umverteilung der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf den aktuellen Gebietsstand umgerechnet. Dies verzerrt die Abbildung der räumlichen Verteilung der Produktion nur unwesentlich, da es sich bei den Kreisreformen in erster Linie um Kreiszusammenlegungen handelte. Um die genauen Umfänge der Tierproduktion auf Länderebene zu erhalten, wurden die vorliegenden Kreisdaten für die Jahre 1990, 1995 und 1999 mit den Umfängen aus der Länderstatistik verglichen und entsprechend korrigiert. Da für 1999 noch keine lückenlose Landwirtschaftsstatistik vorlag, wurden die Daten der Kreisstatistik des Basisjahres 1995 nach Länderumfängen für 1999 korrigiert. Dadurch werden im Jahr 1999 nicht die tatsächlich gehaltenen Tierbestände auf Kreisebene abgebildet, sondern fortgeschriebene Werte. Für die Flächennutzung wurde für das Jahr 1999 entsprechend vorgegangen.

RAUMIS bildet bisher nur die Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung ab. Die  $\text{NH}_3$ -Emissionen werden in einem Verfahren berechnet, das im wesentlichen der Methodik im Kalkulationsprogramm GAS-EM entspricht. Unterschiede bestehen in den folgenden Punkten:

- Die Ausbringung von Gülle und Jauche erfolgt in RAUMIS differenziert nach Jahreszeiten und Temperaturen, wahlweise auch einheitlich bei 15°C
- In RAUMIS findet eine Berechnung ausgewählter Kosten von Minderungsmaßnahmen statt, aufbauend auf die Angaben in Kapitel 3
- In RAUMIS wird der Weidegang von Milchkühen nach Stallform differenziert berechnet, in GAS-EM nach einem Durchschnittswert über alle Haltungsformen. Dadurch können sich Unterschiede beim Mist- und Jaucheanteil ergeben, da der Weidegang bei Milchvieh in Anbindeställen mit Einstreu i. d. R. stärker verbreiteter ist
- Die Verfahren Schafe, Pferde und Geflügel sind unterschiedlich formuliert, z. B. werden in GAS-EM Ansätze aus der „Simpler Methodology“ genutzt, für RAUMIS wurden E-Faktoren für Pferde und Schafe in Anlehnung an die Rinderhaltungsverfahren geschätzt.
- Eine Umsetzung des organisch gebundenen Stickstoffs während der Lagerung in ammonifizierbaren Stickstoff (total ammonical N, TAN) in Höhe von 10 % wird in RAUMIS, wie in der Projektgemeinschaft abgestimmt, einheitlich auf alle Wirtschaftsdüngerformen angewendet. Bei Stallmist wird die Umsetzung auch auf den N-Gehalt im Stroh bezogen. In GAS-EM wird diese Umsetzung nicht auf Stallmist angewendet, wodurch die Emissionen aus Festmistsystemen in GAS-EM geringer eingeschätzt werden als in RAUMIS.
- Gülleaufbereitung wird in RAUMIS im Gegensatz zu GAS-EM nicht abgebildet, da weder Daten über Umfänge solcher Verfahren noch abgestimmte E-Faktoren vorliegen.

Die beiden Modelle sind noch nicht vollständig abgestimmt, so dass sich aufgrund von anderen Differenzen im Berechnungsweg, Datenunterschieden oder Fehlern Abweichungen ergeben können.



Tab. 2.14: Abbildung der Tierhaltungsverfahren in RAUMIS

Nach Tierarten	Statistische Grundlage	Stall-/Weidehaltung (Daten aus Modell- regionsbefragung; andere Annahmen)	N-Ausscheidung kg/Stallplatz * a	Minderung N-Ausscheidung bei N- angepasster Fütterung (%)
Milchkühe	Milchkühe	aus Befragung (nach Größenklassen)	leistungsabhängig, Korrek- turfaktor *	
Kälber	< 6 Monate	Annahme: 100% Mist	16	
Mastbullen	alle männliche Rinder > 6 Monate	aus Befragung (nach Größenklassen)	42	
Färsen	Weibliche Rin- der > 6 Monate (ohne Kühe)	aus Befragung	44	
Mutterkühe	Mutterkühe	aus Befragung	96	
Altkühe	Schlacht- und Mastkühe	wie Färsen	70	
Mastschweine	> 20 kg	aus Befragung (nach Größenklassen)	13	-23,1
Sauen	Zuchtsauen	aus Befragung (nach Größenklassen)	36	(-19,4)
Schafe	Multipliziert mit 0,73 als Anteil ausge- wachsender Schafe	Annahme: 100% Mist, Weidegang wie Mutterkühe	13	
Pferde	alle Pferde	Annahme: 100% Mist, Weidegang wie Mutterkühe	64	
Legehennen	Legehennen	ZMP / Experten- schätzung	0,74	(-4,1)
Masthähnchen	Masthähnchen	Bodenhaltung, Stroh	0,28	(-10,3)
Junghennen	Junghennen	Bodenhaltung, Stroh	0,29	(-14,3)
Sonstiges Geflügel	Puten, Gänse, Enten	Bodenhaltung, ohne Stroh	1,64 (einheitlich wie Puten)	(-8,5)

\* N-Ausscheidung Milchkühe:  $N_{ges} = 45 * 0,0095 * [Milchleistung/Kuh * a]$ ; Korrekturfaktor für Grasanteil an GF-Ration (1 bei Grasanteil <35%, bis zu 1,127 bei Grasanteil >75%)

\*\* Werte in Klammern: nur für Szenarien

Nach Art des Wirtschaftsdüngers	Lagerung	Ausbringung	NH <sub>3</sub> -Gehalt an den N-Ausscheidungen
Rindergülle	aus Befragung	aus Befragung	50%
Rindermist	nicht differen- ziert	Einarbeitung wie Gülle	NH <sub>3</sub> in Mist berechnet aus Jaucheanteil
Rinderjauche	wie Gülle	wie Gülle	NH <sub>3</sub> in Jauche: 90%
Schafe und Pferde (Mist)	nicht differen- ziert	Einarbeitung wie R.gülle	40%
Schweinegülle	aus Befragung	aus Befragung	66%
Schweinemist	nicht differen- ziert	Einarbeitung wie Gülle	NH <sub>3</sub> in Mist berechnet aus Jaucheanteil
Schweinejauche	wie Gülle	wie Gülle	NH <sub>3</sub> in Jauche: 90%
Geflügel (Trocken- kot)	nicht differen- ziert	Einarbeitung aus Befragung	66%

Quelle: eigene Zusammenstellung; Frede, Dabbert (1998); LWK Hannover (6/1997)

### **3 Ammoniak-Emissionsfaktoren, Minderungsmaßnahmen und deren Kosten**

#### **3.1 Ammoniak-Emissionsfaktoren verschiedener Haltungsverfahren**

Ammoniak-Emissionen entstehen in den Bereichen Stall, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern. Die Ammoniak-Emissionen aus dem Stallbereich sind abhängig von Tierart, Leistung, Stallsystem und Temperatur. Daher wurden zunächst die gängigen Haltungsverfahren für Deutschland definiert und diesen spezifische Emissionen pro Stallplatz und Jahr zugeordnet. Die Emissionsfaktoren stellen hierbei die spezifischen Ammoniak-Verluste im jeweiligen Stallsystem dar und werden in kg  $\text{NH}_3\text{-N}$  pro Tierplatz und Jahr angegeben. Daneben sollte auch eine Liste mit leistungsbezogenen Emissionsfaktoren zusammengestellt werden. Für leistungsbezogene Emissionsfaktoren in unterschiedlichen Haltungsverfahren fehlt jedoch zur Zeit die Datengrundlage, so dass derzeit lediglich in Bezug auf die Milchleistung unterschiedliche Emissionsfaktoren möglich sind. Diese Angaben sowie die angenommenen N-Ausscheidungszahlen sind in Tabelle A6 im Anhang dargestellt. Die nachfolgend aufgeführten Emissionsfaktoren wurden aus zahlreichen Untersuchungsergebnissen aus der Literatur abgeleitet und mit der KTBL-Arbeitsgruppe "Emissionsfaktoren und Emissionsminderungsmaßnahmen" abgestimmt. Es muss deutlich hervorgehoben werden, dass die Werte den Wissensstand zum gegenwärtigen Zeitpunkt repräsentieren und bei neueren Erkenntnissen jederzeit abgeändert werden können und sollen. Die Datengrundlage der abgeleiteten Emissionsfaktoren ist in einigen Haltsbereichen sehr schwach, es kann nur auf wenige oder einzelne Untersuchungsergebnisse zurückgegriffen werden, die in nicht für die derzeitige Produktion repräsentativen Ställen ermittelt wurden.

In die von UBA und FAL gemeinsam erstellte Datenbank für Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft werden entsprechend der Ressortvereinbarung zwischen BMVEL und BMU alle in diesem Projekt abgestimmten Kombinationen von Aktivitäten und Emissionsfaktoren und die sie bestimmenden Hilfsgrößen entsprechend den Anforderungen der internationalen Protokolle aufgenommen. Mit jedem Datensatz ist eine Dokumentation verbunden, die Aufschluss über den Weg des Entstehens und den Zeitpunkt gibt, zu dem dies als "Stand des Wissens" galt. Ergibt sich, dass die Daten aufgrund neuerer Erkenntnisse nicht mehr dem Stand des Wissens entsprechen, erfolgt eine erneute Diskussion mit den entsprechenden Fachkreisen. Zu den im folgenden abgestimmten Emissionsfaktoren sind die Umrechnungsschritte und die jeweilige Literatur im Anhang angegeben (s. Anhang Tab. A1 und Tab. A2).

##### **3.1.1 Rinder**

###### **Emissionsfaktoren**

Die Emissionsfaktoren für Rinder werden nach Milchvieh, Bullen und Jungvieh inklusive Aufzucht unterschieden. Aus der Literaturlauswertung wurden die in Tabelle 3.1 dargestellten Emissionsfaktoren für verschiedene Milchviehhaltungssysteme abgeleitet.

Das Verfahren "Liegeboxenlaufstall, flüssig" wird als Standardverfahren in der Milchviehhaltung festgelegt. Hierbei wird von einer ganzjährigen Stallhaltung ausgegangen. Die Angaben beziehen sich auf eine durchschnittliche Milchleistung von 6000 kg pro Tier und Jahr. Für die Anpassung der N-Ausscheidung in Abhängigkeit der Milchleistung wird die in Tabelle A6 im Anhang beschriebene Formel verwendet. Eine Milchkuh entspricht 1,2 GV.

In der Literatursauswertung wurden die Ergebnisse hinsichtlich Messintervall (Ganzjahresmessung, Punktmessung), Luftwechsellmessung und Methode der NH<sub>3</sub>-Detektion überprüft (siehe Anhang Tab. A1). In die Beurteilung der Emissionsfaktoren wurden nur die Ergebnisse einbezogen, die eine Zuordnung zu den Haltungsverfahren zuließen. Die Datengrundlage zu Tiefstreu- und Tretmistverfahren ist sehr gering und wird als nicht gesichert angesehen. Daher können hier keine Angaben zu unteren oder oberen Werten gemacht werden. Die Untersuchungen zeigen tendenziell ähnliche oder leicht höhere Werte im Vergleich zum Liegeboxenlaufstall. Der Anbindestall weist die geringsten Ammoniak-Verluste auf.

Tab. 3.1: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Milchviehhaltungsverfahren

Milchvieh			E-Faktoren (kg Tierplatz <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub> -N)		
			Mittlerer Wert	Unterer Wert	Oberer Wert
1	Anbindeställe	Flüssigmistverfahren	4,0	3,0	5,0
		Festmistverfahren	4,0	3,0	5,0
2	Laufställe				
2.1	Liegeboxenlaufstall	Flüssigmistverfahren	12,0	9,0	15,0
		Festmistverfahren	12,0	9,0	15,0
2.2	andere eingestreute Laufställe	Tiefstreustall	12,0	k.A.	k.A.
		Tretmiststall	13,0	k.A.	k.A.

k.A. = keine Angabe möglich

Die Ammoniak-Emissionsfaktoren für die Bullen- und Jungviehhaltung sind in den Tabellen 3.2 und 3.3 dargestellt. Die zur Ableitung der Emissionsfaktoren verfügbare Datengrundlage ist im Vergleich zum Milchvieh noch geringer. Daher wurden die Emissionsfaktoren für die Bullen bzw. das Jungvieh in Abhängigkeit von den N-Ausscheidungszahlen der jeweiligen Tiergruppen festgelegt. Bei der Bullenhaltung wird von einer durchschnittlichen N-Ausscheidung von 42 kg N pro Tier und Jahr, beim Jungvieh von 44 kg N pro Tier und Jahr für die N-Ausscheidung ausgegangen. Für das weibliche Zuchtvieh über 2 Jahren (Färsen) werden ebenfalls 44 kg N pro Tier und Jahr festgelegt.

Tab. 3.2: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Bullenhaltungsverfahren

Bullenmast (125-600 kg)		E-Faktoren (kg Tierplatz <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub> -N)		
		Mittlerer Wert	Unterer Wert	Oberer Wert
1 Anbindestall	Flüssigmist- verfahren	2,0	k.A.	k.A.
	Festmist- verfahren	2,0	k.A.	k.A.
2 Laufstall	Vollspaltenboden	2,5	k.A.	k.A.
	Tretmiststall	3,0	k.A.	k.A.

k.A. = keine Angabe möglich

Für das Jungvieh wird ein Altersbereich von 0,5-2 Jahre definiert, um eine Übereinstimmung mit den Angaben in der Statistik zu erzielen. Die Emissionen, die durch die Kälberhaltung entstehen, wurden nicht in Form eines eigenen E-Faktors festgelegt. In den Modellen GAS-EM und RAUMIS wurde ein prozentualer E-Faktor für die Kälberhaltung in Anlehnung an den E-Faktor für Jungvieh im Laufstall mit Tretmist in Höhe von 7 % der N-Ausscheidungen angenommen.

Tab. 3.3: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Jungviehhaltungsverfahren

Jungvieh incl. Aufzucht (0,5-2 Jahre)		E-Faktoren (kg Tierplatz <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub> -N)		
		Mittlerer Wert	Unterer Wert	Oberer Wert
<b>1 Anbindestall</b>	<b>Flüssigmist- verfahren</b>	2,0	k.A.	k.A.
	<b>Festmist- verfahrent</b>	2,0	k.A.	k.A.
<b>2 Laufstall</b>	<b>Vollspaltenboden</b>	2,5	k.A.	k.A.
	<b>Tretmiststall</b>	3,0	k.A.	k.A.

k.A. = keine Angabe möglich

### Weidehaltung

Das Standardsystem (Liegeboxenlaufstall, Flüssigmist) geht von einer ganzjährigen Stallhaltung aus. Für die Ammoniak-Verluste während der Weidehaltung werden 8 % des auf der Weide ausgeschiedenen Stickstoffs angesetzt (vgl. Tab. 3.4). Dabei wird berücksichtigt, dass bei der Ganztagesweide ca. 15 % der N-Ausscheidung im Stall verbleiben (N-Ausscheidung während der Melkzeiten) und bei der Tagesweide ca. 60 %. Die Anzahl der Weidetage bei der Tages- bzw. Ganztagesweide, die sich aus den Ergebnissen der Modellregionenbefragung ergeben haben, sind in Kapitel 4.2.1 dargestellt.

Tab. 3.4: Ammoniak-Emissionsfaktoren für die Weidehaltung (nach Inventory Niederlande)

	Anteil der N- Ausscheidungen im Stall (%)	Anteil der N- Ausscheidungen auf der Weide (%)	Ammoniak-Verluste auf der Weide (in % des ausgeschiedenen N)
<b>Ganztagesweide, Melken im Laufstall</b>	15	85	8
<b>Tagesweide, nachts Stall</b>	60	40	8

Quelle: Klaas van der Hoek, Umweltministerium Niederlande, mündl. Mitteilung 2000

### Minderungsmaßnahmen in der Rinderhaltung

In der Tabelle 3.5 sind verschiedene Kategorien von Maßnahmen zur Ammoniak-Minderung in der Rinderhaltung dargestellt. In der ersten Spalte sind alle potentiell möglichen Minderungsmaßnahmen aufgeführt. Die Kategorie 1 (Spalte 2) beschreibt die Maßnahmen, die mit der Arbeitsgruppe "Emissionen" abgestimmt wurden und für die auch Emissionsfaktoren festgelegt wurden. In den Minderungsszenarien wurden diese Maßnahmen zur Berechnung eingesetzt. Kategorie 2 beschreibt die Maßnahmen, die in ihrer emissionsmindernden Wirkung weniger gut erforscht sind, die aber eventuell ein hohes Minderungspotential aufweisen, oder deren Einführung mit hohem Kostenaufwand verbunden sind. Auch diese Maßnahmen wurden in den Min-

derungsszenarien, wenn auch eingeschränkt, berücksichtigt. Alle weiteren Maßnahmen, für die keine abgestimmten Emissionsfaktoren vorliegen, wurden in den Minderungsszenarien nicht berücksichtigt.

Tab. 3.5: Ammoniak-Minderungsmaßnahmen in der Rinderhaltung

<b>Rinder (Milchkühe und Mastrinder)</b>	<b>Minderungsmaßnahmen</b> <i>alle potentiell möglichen Minderungsmaßnahmen</i>	<b>Kategorie 1</b> <i>Maßnahmen, die mit der Arbeitsgruppe Emissionen abgestimmt und mit E-Faktoren ver- sehen sind</i>	<b>Kategorie 2</b> <i>Maßnahmen, deren genaue Wirkungen weniger gut erforscht sind, die aber ev. ein hohes Minderungs- potential aufweisen Maßnahmen, die mit hohem Kostenauf- wand verbunden sind</i>
<b>Haltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anbindestall (im Vergleich zum Laufstall)</li> <li>- Rinnenboden mit optimiertem Schiebersystem</li> <li>- Zwischenboden im Güllekeller</li> <li>- Ansäuern im Güllekeller</li> <li>- Lüftungssteuerung</li> <li>- Biofilter/Nassabscheider</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rinnenboden mit optimiertem Schiebersystem</li> </ul>
<b>Fütterung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N-angepasste Fütterung</li> <li>- Transponderfütterung</li> <li>- Steigerung der Milchleistung</li> </ul>		-
<b>Lagerung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erweiterung der Lagerkapazität</li> <li>- Abdeckung des Güllelagers</li> <li>- Ansäuern</li> <li>- Strippen</li> <li>- Flocken</li> <li>- Separieren</li> <li>- Vergären</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abdeckung des Güllelagers</li> <li>- Strohhäcksel</li> <li>- Granulat</li> <li>- Schwimmfolie</li> <li>- Zeltdach</li> <li>- Betondecke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erweiterung der Lagerkapazität</li> </ul>
<b>Ausbringung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unmittelbare Einarbeitung (1-4 Stunden)</li> <li>- Schleppschlauch</li> <li>- Schleppschuh</li> <li>- Schlitzverfahren</li> <li>- Güllegrubber</li> <li>- Verdünnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unmittelbare Einarbeitung (1-4 Stunden)</li> <li>- Schleppschlauch</li> <li>- Schleppschuh</li> <li>- Schlitzverfahren</li> <li>- Güllegrubber</li> <li>- Verdünnung</li> </ul>	-

Die Minderungsmaßnahmen Haltung und Fütterung werden direkt in den Kapiteln zur Rinder- und Schweinehaltung beschrieben, die Minderungsmaßnahmen Lagerung und Ausbringung werden in Kapiteln 3.2 und 3.3 behandelt.

Als eine der wenigen Möglichkeiten zur Ammoniak-Emissionsminderung in der Milchviehhaltung wird das aus Holland stammende Rinnenbodensystem für den Liegeboxenlaufstall angesehen. Probleme kann es im Hinblick auf die Tiergesundheit geben, da bei diesem System mit einem höheren Verletzungsrisiko zu rechnen ist (eventuelle Rutschgefahr; Steffens, LUFA Oldenburg, mündl. Mitteilung 2001). In den Untersuchungen von Swierstra und Braam (1999) wurde hingegen keine erhöhte Rutschgefahr im Vergleich zu anderen Laufstalltypen festgestellt.

### **Emissionsarmer Rinnenboden für Liegeboxenställe**

Das Rinnenbodensystem besteht aus einer dichten, geraden Betonplatte mit parallel laufenden Rinnen in Laufgangsrichtung und ist mit einem passenden Mistschieber versehen (vgl. Abb. 3.1). Die Rinnen haben einen Abstand von 160 mm und sind 35 mm breit und 30 mm tief. Der Urin wird via dieser Rinnen durch Löcher, die in 1,1 m Abstand von einander in der Rinne eingelassen sind, in den darunter liegenden Güllekeller geleitet. Der Kot wird mit dem passenden Mistschieber an ein Ende des Laufganges geschoben und in den darunter liegenden Güllekeller gekippt. Das Schieberblatt des Mistschiebers hat einen speziellen Aufbau, der die Rinnen reinigt und das Verstopfen der Perforationen mit Kot verhindert.

Nach Swierstra und Braam (1999) konnten die Ammoniak-Emissionen in einem Versuchsstall des IMAG-DLO Hofes in Duiven 1996 um 48 % gegenüber einem konventionellen Laufstall mit Spaltenboden verringert werden. Seipelt (1999) stellt eine Minderung um 35 % fest. Zugleich war eine Zunahme der Methan-Emission von etwa 12 % zu verzeichnen. Da im UN/ECE-Protokoll (EB.AIR/1999/1; 15. 10. 1999) Teil V Guidance Document on Control für das Verfahren eine Emissionsreduktion für  $\text{NH}_3$  von 50% ausgewiesen wird, wurde dieses System in die Kategorie 2 aufgenommen und im Szenario mit 50 % Minderung gerechnet (vgl. Tab. 3.5).

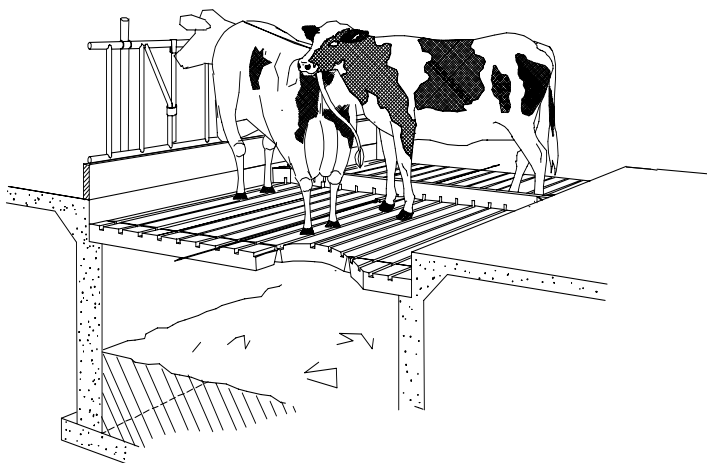


Abb. 3.1: Rinnenbodenelemente mit Gülleschieber im Laufgang eines Liegeboxenstalles (Swierstra und Braam 1999)

Von den in Tabelle 3.5 genannten potentiellen Minderungsmaßnahmen werden nur die Maßnahmen nachfolgend kurz beschrieben, die in der Arbeitsgruppe zwar diskutiert wurden, für die

aber keine abgestimmten Minderungsprozente festgelegt wurden. Sie wurden daher auch nicht in die Minderungsszenarien (vg. Kapitel 6.3) aufgenommen.

### **N-angepasste Fütterung**

Die N-angepasste Fütterung kann bei Milchkühen die jährliche N-Ausscheidung um 10-20 kg N senken (UBA, 1994). In den letzten Jahren hat die bedarfs- und leistungsgerechte Fütterung in den Milchviehbetrieben durch die Zuteilung des Kraftfutters mittels Transpondersysteme bereits einen hohen Verbreitungsstand erreicht. Mit der Zunahme der TMR-Fütterungstechnik und deren Einsatz für bestimmte Leistungsabschnitte in großen Milchviehbeständen werden die N-Überschüsse ebenfalls minimiert.

### **Milchleistung**

Eine weitere Möglichkeit, die  $\text{NH}_3$ -Emissionen im Milchviehbereich zu reduzieren, ist die Steigerung der Milchleistung. Hierdurch wird zwar die N-Ausscheidung pro Tier größer, durch die verringerte Tierzahl bei gleichbleibender Milchmenge wird die N-Ausscheidung und somit die Ammoniak-Emission bezogen auf die Einheit produzierter Milch verringert (UBA 1994). Es liegen aber keine abgestimmten Emissionsfaktoren vor.

### **Güllezusätze**

Ein möglicher Zusatzstoff in der Gülle ist Wasser. Die Effekte der Verdünnung auf das Ausbringungsverhalten der Gülle werden in Kap. 3.3 beschreiben. Darüber hinaus gibt es eine Reihe verschiedener Zusätze (u.a. Gesteinsmehle, Tonminerale, organische und mineralische Säuren, Pflanzenextrakte und Mikrobekulturen), deren angestrebte Wirkung u.a. die Minderung von Geruchs- und Schadgasemissionen im Stall und auf dem Feld ist. Die Wirkung kann sowohl durch eine Förderung als auch eine Hemmung der mikrobiellen Ab-, Um- und Aufbauprozesse in der Gülle hervorgerufen werden. Die Kosten der Zusatzstoffe betragen zwischen 0,40 und 3,00 DM/m<sup>3</sup> Gülle (Klasink und Steffens 1996; Kunz 1996). Die Wirkungsweise der zahlreichen Stoffe wurde insbesondere von der LUFA Oldenburg und der Lehr- und Versuchsanstalt Aulendorf untersucht. Unterschiedliche positive als auch negative Effekte auf die Geruchs- und Schadgasemission, auf das Fließ- und Pumpverhalten, auf die Nährstoffgehalte in der Gülle und die Hygienisierung gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante konnten festgestellt werden. Eine gezielte Beeinflussung der Gülleeigenschaften durch die Zusätze ist nur schwer erreichbar.

Der Zusatz von Salpetersäure führt zwar zu einer Reduzierung des pH-Wertes und auch der Ammoniak-Emissionen (Seipelt 1999), es kommt dabei aber zu einem enormen Anstieg der  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen. Der Einsatz wird daher als äußerst kritisch beurteilt.

### **Vergärung**

Die Vergärung von Gülle bedingt nur eine geringe Ammoniak-Emissionsminderung, da zwar relativ gesehen die Emission von  $\text{NH}_4$ -Stickstoff nach der Vergärung niedriger ist im Vergleich zu unvergorener Gülle, absolut gesehen die Ammonium-Menge von vergorener Gülle aber höher ist. Somit sind die Ammoniak-Emissionen aus vergorener und nativer Gülle gleich einzustufen. Darüber hinaus ist aufgrund einer fehlenden Schwimmdecke bei vergorener Gülle die Gefahr einer erhöhten Emissionen aus dem Lager gegeben. Aus den genannten Gründen wird die Vergärung daher nicht als Minderungsmaßnahme berücksichtigt.

## Kosten der Minderungsmaßnahmen

Die Kosten werden nur für die Maßnahmen angegeben, die auch in die Minderungsszenarien eingehen. Aus den Angaben aus Holland (Swierstra, mündl. Mitteilung 2000) wurden die zusätzlichen jährlichen Kosten für das Rinnenbodensystem mit 50 DM pro Kuhplatz abgeleitet. Zu dieser Kostenkalkulation kommen noch 5 DM Abnutzung und 5 DM Energie pro Jahr hinzu. Zusätzlich fallen bei einem Stall mit 80 Kühen 2 DM pro Tag für den Mistschieber an. Insgesamt wird mit einem jährlichen Kostenansatz von rund 65 DM pro Kuhplatz gerechnet. Für andere Minderungsmaßnahmen im Rinderstallbereich wurden keine Kosten ermittelt.

### 3.1.2 Schweine

#### Emissionsfaktoren

Für die Festlegung und Ableitung der Ammoniak-Emissionsfaktoren wurde, wie im Abschnitt 3.1.1. beschrieben, vorab eine Auswertung vorhandener Untersuchungsergebnisse durchgeführt (siehe Anhang Tabelle A2). In die Beurteilung und Ableitung der Emissionsfaktoren wurden nur die Ergebnisse mit einbezogen, die eine Zuordnung zu den Haltungsverfahren in der **Schweinemast** oder **Zuchtsauenhaltung** zuließen. Es wurden weiterhin nur die Veröffentlichungen berücksichtigt, in denen spezifische Emissionsfaktoren angegeben bzw. aus deren Angaben berechnet werden konnten. Tabelle A2a (s. Anhang) enthält weitere Untersuchungsergebnisse, die zum Teil den gesamten Bereich der Schweinehaltung umfassen (Haltung, Lagerung und Ausbringung) oder in denen nur Angaben zu Tierart und Nutzungsrichtung gemacht wurden. Nur wenige Daten basieren auf einer größeren Anzahl von Ställen und Messungen, die über einen größeren Zeitraum und/oder zu verschiedenen Tages- und Nacht- bzw. Jahreszeiten genommen wurden. Trotz der großen Streuung wurden mittlere Emissionsfaktoren abgeleitet.

In den Tabellen 3.6 und 3.7 sind diese Emissionsfaktoren im Bereich Mastschweine und Zuchtsauen dargestellt. Bei den Mastschweinen wird als Standardsystem der "wärmegeämmte Stall mit Vollspalten, Kleingruppe und einer 1-Phasen-Fütterung" definiert. Für ein Mastschwein wird im Mittel 0,12 GV gerechnet, es werden 2,5 Mastdurchgänge pro Jahr festgelegt. Die jährliche N-Ausscheidung beträgt 13 kg N pro Tier bei durchschnittlichen Zunahmen von 700 g pro Tier und Tag.

In Schweineställen mit Teilspaltenböden wurden z.T. niedrigere Emissionen als in Ställen mit Vollspaltenböden (siehe Anhang A2) gemessen. Die Ergebnisse lassen sich allerdings nicht pauschal verallgemeinern. Nach Untersuchungen von Keck (1997) sind die Ammoniak-Emissionen im Teilspaltenbodenstall geringer, wenn der geschlossene Liegebereich in diesen Ställen sauber gehalten wird. Da dies in der Praxis oft nicht zu realisieren ist, wurden daher für Voll- und Teilspaltenbodenställe die gleichen mittleren Emissionsfaktoren festgelegt.

Zur "Dänischen Aufstallung" und zum Tiefstreustall liegen keine oder nur wenige Messergebnisse vor. Es wird angenommen, dass die Emissionen in der "Dänischen Aufstallung" denen im Tiefstreustall entsprechen. Frische Einstreu kann feuchte Oberflächen abdecken, reduziert den Gasaustausch an den Grenzschichten und kann dadurch verringerte NH<sub>3</sub>-Emissionen bewirken. Eine hohe Tierbelegung führt allerdings zu einer starken Umsetzung des Strohes, das entstehende Stroh-Kot-Harn-Gemisch kann sogar eine wesentlich größere Emissionsoberfläche aufweisen im Vergleich zu einer feuchten Oberfläche im einstreulosen Stall (Horlacher et al. 1997). Wird das C/N-Verhältnis durch den mikrobiellen Abbau der leicht abbaubaren C-Fraktion wieder enger, steigt die NH<sub>3</sub>-Emission ebenfalls wieder an (Amon 1998). Aufgrund dieser Tatsachen werden für die Einstreusysteme höhere Ammoniak-Emissionsfaktoren festgelegt als für eins-



treulose Systeme.

Da für die Außenklimaställe jeweils nur Ergebnisse aus einer Untersuchung zur Verfügung stehen, werden keine Spannweiten angegeben. In ihrer Emissionswirkung werden sie gegenüber den wärme gedämmten Ställen als "emissionsärmer" eingestuft. Dies wird in erster Linie mit den geringeren Temperaturen und dem dadurch geringeren NH<sub>3</sub>-Emissionspotential begründet.

Tab. 3.6 : Ammoniak-Emissionsfaktoren für Mastschweinehaltungsverfahren

<b>Mastschweine</b>		<b>E-Faktoren (kg Tierplatz<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub>-N)</b>		
<b>geschlossene, wärme gedämmte Ställe</b>		<b>Mittlerer Wert</b>	<b>Unterer Wert</b>	<b>Oberer Wert</b>
<b>Flüssigmist</b>	<b>Vollspaltenboden</b>	3	2	4
	<b>Teilspaltenboden</b>	3	2	5
<b>Einstreu</b>	<b>Tiefstreustall incl. Kompoststall, 2 -Flächen-Stall incl. Dänische Aufstallung</b>	4	3	6
<b>Außenklimaställe</b>				
<b>Flüssigmist</b>	<b>Kistenstall</b>	2	k.A.	k.A.
<b>Einstreu</b>	<b>Kistenstall</b>	2	k.A.	k.A.
	<b>Tiefstreustall incl. Kompoststall, 2 -Flächen-Stall incl. Dänische Aufstallung</b>	4	k.A.	k.A.
		(Tendenz zu 3)		

k.A. = keine Angabe möglich

Im Bereich der Zuchtsauenhaltung war es nicht möglich, nach den in Tabelle 3.7 aufgeführten Haltungsbereichen aufgeschlüsselte Emissionsfaktoren festzulegen. Die Literaturangaben, die hierzu vorliegen, beziehen sich nur zum Teil auf die jeweiligen Haltungsbereiche, meistens auf das gesamte Verfahren. Im Bereich der "säugenden Sauen mit Ferkel" wurden nach der Literaturauswertung 3-9 kg NH<sub>3</sub>-N pro TP und Jahr ermittelt (s. Anhang Tab. A2). Wenige Ergebnisse liegen zum Bereich des Wartestalls vor. Dort werden 4,1-4,6 kg NH<sub>3</sub>-N pro TP und Jahr gemessen (Müller 1994, Oldenburg 1989). Im Bereich der Ferkelaufzucht werden 0,25-0,56 kg NH<sub>3</sub>-N pro TP und Jahr (Horlacher et al. 1997) angegeben. Aufgrund der unzureichenden Datengrundlage werden nur Emissionsfaktoren für den gesamten Sauenhaltungsbereich festgelegt (vgl. Tab. 3.7).

Bei der Angabe "Zuchtsauen inkl. Ferkel" wird die Angabe für die Lebendmasse der Ferkel von 20 kg auf 25 kg geändert, da auch in den gesetzlichen Bestimmungen die höheren Gewichtsangaben genannt werden (Muster-Verwaltungsvorschrift zur DVO). Die holländische Ammoniakrichtlinie gibt ebenfalls 25 kg an. Allerdings werden in der Statistik für "Zuchtsauen mit Ferkeln" bis 20 kg angegeben.

Offen bleiben müssen bei der Zuchtsauenhaltung der Einfluss der Einstreu und der Einfluss der Einzel- bzw. Gruppenhaltung auf die Emissionen. Es ist davon auszugehen, dass die Einstreu ähnlich wie bei der Mast doch zu höheren Emissionen führen kann.

Tab. 3.7: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Zuchtsauenhaltungsverfahren

Zuchtsauen (incl. Ferkel bis 25 kg)		E-Faktoren (kg Tierplatz <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub> -N)		
		Mittlerer Wert	Unterer Wert	Oberer Wert
<b>Abferkelbereich</b>	<b>mit Einstreu</b>	Nur unzureichendes Datenmaterial vorhanden, Ableitung der Emissionsfaktoren war nicht möglich		
	<b>ohne Einstreu</b>			
<b>Warte- und Traggebucht</b>	<b>mit Einstreu</b>			
	<b>ohne Einstreu</b>			
<b>Deckbucht</b>	<b>mit Einstreu</b>			
	<b>ohne Einstreu</b>			
<b>Aufzucht</b>	<b>mit Einstreu</b>			
	<b>ohne Einstreu</b>			
<b>Zuchtsauen: alle Bereiche</b>		6	3	9

### Minderungsmaßnahmen in der Schweinehaltung

In der Tabelle 3.8 sind verschiedene Kategorien von Minderungsmaßnahmen zur Ammoniak-Minderung in der Schweinehaltung dargestellt. Die Abgrenzung der Kategorien wurde bereits in Abschnitt 3.1.1 beschrieben. Zunächst werden die drei Minderungsmaßnahmen beschrieben, für die abgestimmte Emissionsfaktoren vorliegen und die in die Minderungsszenarien aufgenommen wurden. Die Maßnahme Lüftungssteuerung und Abluftreinigung wird in ihrer Wirkungsweise beschrieben, wurde aber aus Kostengründen nicht in die Minderungsszenarien aufgenommen. Alle weiteren Maßnahmen, die hier nicht näher beschrieben werden, wurden zwar in der Arbeitsgruppe diskutiert, es wurden aber keine abgestimmten Emissionsfaktoren festgelegt.

### N-angepasste Fütterung

Als effektivste Minderungsmaßnahme zur Reduzierung der Ammoniak-Emissionen wird die N-angepasste Fütterung angesehen. Da die Korrelation zwischen ausgeschiedenem N und dem emittierten NH<sub>3</sub> sehr eng ist, kann durch die Reduzierung des Stickstoffs im Futter eine ebenso große Reduktion der NH<sub>3</sub>-Emission erzielt werden.

Nach der Literaturlauswertung (s. Anhang, Tab. A11) schwanken die Minderungseffekte zwischen 5 und 41 Prozent. Dies wird durch die Häufigkeit der N-Anpassung während der Mastperiode (Zwei-, Drei-, Multiphasenfütterung) und den Anteil der zugesetzten Aminosäuren bestimmt. So stellen Spiekers und Pfeffer (1990) die Verminderung der N-Ausscheidungen in der Schweinemast von 20 bis 34 % dar. Rohr (1992) bestätigt, dass die N-Ausscheidungen um bis zu 31 % zu reduzieren sind (RP-angepasste Mehrphasenfütterung, Zusatz bzw. Supplementierung von Aminosäuren).

Im Projekt werden die Berechnungen zur Minderung der NH<sub>3</sub>-Emissionen durch N-angepasste Fütterung bei den Mastschweinen mit 23 % und bei den Zuchtsauen mit 19 % durchgeführt. Hierbei wird nur die Stickstoffreduktion von der Universalmastmischung auf RAM-Futterstandard berücksichtigt. Die Reduktion der N-Ausscheidungen und somit der Ammoniak-Emissionen durch gezielte Aminosäuren-Zufütterung wird aufgrund der Mehrkosten gegenüber

der 1-Phasen-Fütterung nicht berechnet.

## Außenklimastall

Die Haltung der Schweine im Außenklimastall stellt gegenüber der Haltung im wärmegeprägten Stall eine mögliche Minderungsmaßnahme dar. Dies gilt sowohl für die Flüssigmistsysteme im Außenstall als auch für die Einstreusysteme (vgl. Tab. 3.6).

Tab. 3.8: Ammoniak-Minderungsmaßnahmen in der Schweinehaltung

<b>Mast- schweine und Zuchtsauen</b>	<b>Minderungsmaßnahmen</b>	<b>Kategorie 1</b>	<b>Kategorie 2</b>
	<i>Alle potentiell möglichen Minderungsmaßnahmen</i>	<i>Maßnahmen, die mit der Arbeitsgruppe Emissionen abgestimmt und mit E-Faktoren versehen sind</i>	<i>Maßnahmen, deren genaue Wirkungen weniger gut erforscht sind, die aber ev. Ein hohes Minderungspotential aufweisen</i>  <i>Maßnahmen, die mit hohem Kostenaufwand verbunden sind</i>
<b>Haltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Großgruppe</li> <li>- Außenklimastall</li> <li>- Optimiertes Flüssigmistsystem (holländische Teilspaltenställe)</li> <li>- Optimiertes Festmistsystem</li> <li>- Lüftungssteuerung</li> <li>- Biofilter/Nassabscheider</li> <li>- Spülen unter dem Spaltenboden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Außenklimastall (Kistenstall) mit und ohne Einstreu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Großgruppe</li> </ul>
<b>Fütterung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N-angepasste Fütterung</li> <li>- N-angepasste Fütterung mit Aminosäure-Supplementierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N-angepasste Fütterung</li> </ul>	

## Großgruppe

Die Vergrößerung der Stallabteile von Klein- auf Großgruppe führt durch die im Verhältnis kleinere Fläche pro Tier und Freßplatz zu geringeren  $\text{NH}_3$ -Verlusten (Ratschow, 2000, mündliche Mitteilung). In den Untersuchungen der LK Westfalen-Lippe konnte gezeigt werden, dass bei einer Gruppenvergrößerung von 10 auf 50 Tiere die Emissionen um 20 % verringert werden können. Dies ist in erster Linie auf die Ausbildung von Funktionsbereichen Fressen-Liegen-Koten zurückzuführen. Im Projekt werden für Großgruppen 10 % Minderung angesetzt.

## Lüftungssteuerung und Abluftreinigung

Durch eine gezielte Luftführung können in Schweineställen die Ammoniak-Emissionen gemindert werden (Horlacher et al. 1997). Vergleichende Untersuchungen von Deckenstrahl-, Futtergang- und Rieselkanallüftungen zeigten, dass bei der Futtergang- als auch bei der Rieselkanallüftung 20 % geringere Ammoniak-Emissionen gegenüber der Deckenstrahllüftung entstehen (Keck 1997). Untersuchungen von Jungbluth und Büscher (1996) zeigen, dass durch eine Kombination von Rieselkanallüftung und Unterflurabsaugung die Ammoniak-Konzentrationen im Stall um 40 % und die Ammoniak-Emissionen um 20 % gegenüber konventionellen Stallsystemen mit Strahllüftung und Oberflurabsaugung reduziert werden konnten.

Um die über die Abluft aus dem Stall transportierten Ammoniak-Emissionen zu mindern, können Biofilter oder Biowäscher eingesetzt werden. Diese wurden in erster Linie zur Verminderung von Geruchsemissionen entwickelt. Aufgrund der hohen Kosten (Biowäscher 14-26 DM/ Mastschwein) und der doch verhältnismäßig geringen Reduktion der Gesamtemissionen (5-15 %) werden im Bereich der Flüssigmistlagerung und -ausbringung effektivere und kostengünstigere Maßnahmen zur Emissionsminderung gesehen, die hier vorgestellten Maßnahmen werden im folgenden nicht weiter berücksichtigt.

### Kosten der Minderungsmaßnahmen

Für die Berechnung der Investitionen verschiedener Schweinehaltungsverfahren wurden ausgehend von einer Referenz (wärmegeprägter Stall, Vollspalten und Kleingruppe, 1-Phasen-Fütterung) verschiedene Modelle zusammengestellt. Diese unterscheiden sich in Klimatisierung, Entmistungs- und Fütterungstechnik. Aus den Investitionen und den jährlichen Kosten wurden die in Tabelle 3.10 dargestellten spezifischen Verfahrenskosten ermittelt.

Für die Minderungsszenarien "Angepasste Fütterung" wurden 5,50 DM pro Tierplatz und Jahr als Mehrkosten gegenüber der Referenz angesetzt. Der Außenklimastall mit Flüssigentmistung wird gegenüber dem wärmegeprägten Vollspaltenstall mit 11,50 DM pro Tierplatz Mehrkosten gerechnet. Die Mehrkosten beziehen sich jeweils auf 1000 Masttiere. Aus diesen Mehrkosten leiten sich die dargestellten Minderungskosten pro kg gemindertes  $\text{NH}_3$  ab. Die Berechnungsgrundlage findet sich in Kapitel 2.5.

Tab. 3.9: Minderungsmehrkosten pro kg gemindertes  $\text{NH}_3$  in der Mastschweinehaltung, Außenklimastall und N-angepasste Fütterung

	Kosten	Emission	Minderung	Kosten/ Minderung
<b>Haltung Außenklimastall, Flüssigmist, Großgruppe im Vergleich zu Vollspalten Großgruppe</b>	DM/Stallplatz	Emission/Tier im Vergleich zur Referenz	Minderung/Tier im Vergleich zur Referenz	DM/kg $\text{NH}_3$
<b>1000 Mastplätze</b>	11,5	2,4	1,2	9,5
<b>N-angepasste Fütterung mehrphasig, Breifutter und flüssig</b>		Emission/Tier im Vergleich zu ca. 6,5 kg $\text{NH}_3$ Emission bei 1-Phasen-Fütterung (23% Minderung)	Minderung/Tier im Vergleich zu ca. 6,5 kg $\text{NH}_3$ Emission bei 1-Phasen-Fütterung (23% Minderung)	
<b>1000 Mastplätze</b>	5,5	5,0	1,5	3,7

Quelle: Berechnungen FAL

Tab. 3.10: Spezifische Verfahrenskosten bei verschiedenen Mast Schweinehaltungsverfahren mit N-angepasste Fütterung, Neubau

Mastplätze, Verfahren	Referenz	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4	Modell 5	Modell 6	
	Spezifische Verfahrenskosten (DM pro MPL und Jahr)							
	Wärmedämmter Stall, Zwangslüftung						Außenklimastall	
	Vollspalten	Einstreu						
	Kleingruppe	Großgruppe						
	1-Phasen- Fütterung Breifutter	1-Phasen- Trogfütterung flüssig	Angepasste Fütterung, Trogfütterung flüssig	Angepasste Fütterung, Breifutter	Angepasste Fütterung, Sensorfütte- rung flüssig	Angepasste Fütterung, Breifutter		
	Quelle Baukosten	(2)	(2)	(2)	(1)	(1)	(3) System Wiedmann	
							(1) Nürtinger System	(3) Tiefstreu
500, kontinuierlich	133	148	154	139	146	137	139	
1000, kontinuierlich	121	136	142	126	129	121	128	
2000, kontinuierlich	115	130	136	120	114	109	121	

Annahmen

Abschreibung für Gebäudeinvestitionen mit Einrichtung: jährlich 11 % bei AfA 5 % (20 Jahre), Zins 3,8 % (1/2 von 6 %), Reparaturen 2 %, Versicherung 0,2 %  
Abschreibung für zusätzliche N-reduzierte Fütterung: jährlich 17 % bei AfA 10 % (10 Jahre), Zinssatz 3,8 % (1/2 von 6%), Reparaturen 3 %, Versicherung 0,2 %  
Arbeitskosten: Arbeit für tägliche und periodische Arbeiten (Füttern, Tierkontrolle, Reinigen, Entmisten bis zum Mistlager, Einstreuen, Ein- Um- und Ausstellen, Wartung und Reparaturen und allgemeine Arbeiten (Management, Vermarktung und Futterbereitstellung). Stundensatz 25 DM/AKh  
Kosten für Strohbergung und -lagerung, Einstreu- und Entmistungstechnik (einschließlich entlohnter Arbeit)  
Energie für Lüftung und Heizung: Wärmedämmter, zwangsgelüfteter Stall 10 DM/Mastplatz, Außenklimastall 1 DM/Mastplatz  
Produktionsleistungen (Mast von 25 - 115 kg, Tageszunahme 700 g, Futterverwertung 1:3, Umrtriebe 2,7/Jahr)  
Nicht berücksichtigt sind Kosten für Ferkel und Futtermittel, ggf. Preisunterschiede bei N-reduziertem Futter.

Quelle: Berechnungen KTBL nach Daten aus:

(1) Investitionsausgaben für den Bau größerer Schweinemastanlagen (2000), Institutsbericht 110/00 Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL Braunschweig, (2) Investitionsausgaben für den Bau kleinere Schweinemastanlagen (2000), Institutsbericht 110/00 Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL Braunschweig, (3) Außenklimaställe für Schweine (1998) Baukosten; Arbeitszeit, KTBL Sonderveröffentlichung 026, (4) Phasenfütterung in der Schweinemast (1995), DLG-Information 3/1995, DLG Frankfurt/Main

### 3.1.3 Geflügel

#### Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren für Hühner werden differenziert nach Legehennen und Mastgeflügel dargestellt. Infolge fehlender Daten zu den Produktionsrichtungen Junghennenaufzucht und Mastgeflügelelterntierhaltung werden hierfür keine Emissionsfaktoren festgelegt. Die vom Produktionsumfang bedeutende Aufzucht von Junghennen dürfte hinsichtlich des Emissionsgeschehens in die Spannweite der Faktoren für Masthähnchen fallen.

Die meisten Veröffentlichungen finden sich zur Legehennenhaltung. Gegenstand der Literaturdurchsicht war insbesondere die Suche nach verfahrensbeschreibenden Details und nach Aussagen zu Messmethoden sowie Umfang und Dauer der Untersuchungen. Im Ergebnis der Auswertungen und nach Abstimmung in der KTBL-Arbeitsgruppe "Emissionen und Emissionsminderungsmaßnahmen" gelten für die verschiedenen Verfahren der Legehennenhaltung die Emissionsfaktoren der Tabelle 3.11. Für die künftig nach Legehennen-Haltungsverordnung geforderten ausgestalteten Käfige stehen noch keine Daten zur Verfügung.

Tab. 3.11: Ammoniak-Emissionsfaktoren für Legehennenhaltungsverfahren

Legehennen	E-Faktoren (kg Tierplatz <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub> -N)		
	Mittlerer Wert	Unterer Wert	Oberer Wert
<b>Käfighaltung</b>			
mit Kotgrube	0,25	0,1	0,32
mit Kotband	0,12		
mit Kotband und Trocknung	0,032	0,01	0,085
<b>Ausgestaltete Käfige</b>	k. A.	k. A.	k. A.
<b>Volierenhaltung</b>			
mit Kottrocknung	0,075	0,02	0,2
<b>Bodenhaltung/Auslauf</b>	0,26		
<b>Entmistung 1 ×/Durchgang</b>			

k.A. = keine Angaben möglich

Literaturangaben, in denen die Emissionsfaktoren auf eine Großvieheinheit (GV) bezogen sind, wurden auf die Maßeinheit Tierplatz und Jahr umgerechnet. Es fand der KTBL-GV-Schlüssel (KTBL 2000) Anwendung. Aufgrund der geringen Einzeltiermassen kann es hierbei zu Fehlern bei der Umrechnung kommen.

Die Ammoniak-Emissionsfaktoren für die Geflügelmast sind in der Tabelle 3.12 dargestellt.

Tab. 3.12: Ammoniak-Emissionsfaktoren für die Geflügelmast

Mastgeflügel	E-Faktoren (kg Tierplatz <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub> -N)		
	Mittlerer Wert	unterer Wert	Oberer Wert
<b>Masthähnchen</b>			
Einstreu	0,04		0,06
Kotbelüftung/Trocknung		0,004	0,04
<b>Enten</b>	0,12	0,08	1,0
<b>Puten</b>	0,6	0,4	0,7

Die Datengrundlage für die Ableitung der Emissionsfaktoren ist im Vergleich zur Legehennenhaltung geringer, insbesondere bei Puten und Enten. Infolge der kurzen Mastperioden in der Masthähnchen- und Entenmast hat die Dauer der Nichtbelegung (Serviceperiode) zwischen den Mastperioden einen deutlichen Einfluss auf die Jahresemission. Die Emissionsfaktoren sind demzufolge bei Enten und Puten "relativ ungenau", da diese Werte aus Messungen der stündlichen Emission belegter Ställe abgeleitet werden mussten.

### Minderungsmaßnahmen in der Geflügelhaltung

In beiden vorangegangenen Tabellen sind bereits emissionsmindernde Maßnahmen mit Faktoren benannt. Die Ammoniak-Emission aus den Ställen lässt sich beim Geflügel insbesondere durch kurze Verweilzeiten des Kotes im Stall und/oder Kotbelüftung/Trocknung erzielen. Vor allem in der Käfighaltung von Legehennen wird diese Verfahrensweise praktiziert. Bei der Bodenhaltung von Legehennen und Masthähnchen sind die Wirkungen weniger gut untersucht und technisch nicht ohne weiteres umsetzbar. Verfahrenstechnische Lösungen zur Emissionsminderung in der Enten- und Putenmast, deren Wirkung im Stall ansetzt, sind in der Literatur nicht beschrieben.

Von einzelnen Arbeitsgruppen werden Untersuchungen zu weiteren emissionsmindernden Maßnahmen veröffentlicht, deren Allgemeingültigkeit und Praktikabilität unter Produktionsbedingungen in Fachkreisen noch diskutiert wird.

Hierzu zählen:

- N-angepasste Fütterung einschließlich Aminosäure-Supplementierung
- Tränkwasser- und Futterzusätze
- gezieltes Management des Kot-Einstreu-Gemisches.

Aufgrund der unzureichenden Datengrundlage konnten für die Geflügelverfahren keine Kostenberechnungen durchgeführt werden.

## 3.2 Lagerung von Flüssig- und Festmist

### Emissionsfaktoren

Die Lagerung von Flüssigmist erfolgt in unterschiedlichen Behältern. Zunächst kann der Flüssigmist direkt unter dem Stall gesammelt werden. Daneben gibt es im Außenbereich offene und geschlossene Hochbehälter, Tiefbehälter mit oder ohne befahrbare Decke und sogenannte Erdbecken oder Lagunen mit einer Abdichtung zum Unterboden.

Die Festmistlagerung erfolgt sowohl im Stall als auch außerhalb. In Abhängigkeit vom jeweiligen Haltungsverfahren wird der Festmist nur einige Stunden (tägliche Entmistung) oder mehrere Monate (Tieflaufstall) im Stall gelagert.

Die  $\text{NH}_3$ -Emission hängt von verschiedenen Faktoren wie Tierart, Produktionsrichtung, Temperatur, Lagerungsdauer und der Höhe des Luftaustausches ab. Die  $\text{NH}_3$ -Verluste aus offenen Lagerbehältern sind hierbei abhängig von der Gestaltung des Behälters sowie der Art und Zusammensetzung des Flüssigmistes. Bei gleichem Flüssigmist wird die Höhe der Emission weitestgehend durch die Größe und die Beschaffenheit der Oberfläche beeinflusst. Die Datengrundlage zu absoluten Ammoniak-Emissionen aus dem Lager ist zu unzureichend, um hieraus absolute Emissionsfaktoren abzuleiten. Messungen aus Güllelagern wurden u.a. von De Bode (1990), Roß et al. (1999) und Sommer (1997) durchgeführt, doch können aufgrund der Vielzahl der Behältergrößen und -formen keine einheitlichen Emissionsfaktoren abgeleitet werden.

Die Arbeitsgruppe einigt sich daher auf die in Tabelle 3.13 dargestellten prozentualen  $\text{NH}_3$ -Verluste.

Tab. 3.13:  $\text{NH}_3$ -Verluste (%) während der offenen Lagerung von Jauche, Gülle und Festmist (keine Schwimmdecke vorhanden)

Gülle bzw. Festmistlager	Mittlere $\text{NH}_3$ -Verluste in % am verbliebenen Gesamt-N (nach Stall)		
	Rind	Schwein	Anmerkungen
Gülle-Rund-/Hochbehälter	8	15	
Lagunen, offen	15	25	Geschätzt, da keine Messung
Festmist	25	25	
Jauche	10	20	Offene Jauchelagerung praktisch nicht vorkommend

### Minderungsmaßnahmen

Durch bestimmte Abdeckungsmaßnahmen der Behälter können Ammoniak-Emissionen fast vollständig vermieden werden. Die in Tabelle 3.14 dargestellten Abdeckungsarten wurden mit der Arbeitsgruppe Emissionen abgestimmt und werden für die Minderungsszenarien eingesetzt.



Tab. 3.14: Mittlere Emissionsminderung (%) verschiedener Abdeckungen für Güllelagerbehälter, Referenz: nicht abgedeckt, ohne Schwimmschicht

Behälter mit Abdeckung	Minderung in % gegenüber nicht abgedeckt	
	Rindergülle	Schweinegülle
<b>Feste Abdeckung</b> (Beton, Zelt, Kunststoffabdeckung)	90 (85-95)	90 (85-95)
<b>Natürliche Schwimmdecke</b>	70 (30-80) <sup>1</sup>	30 (20-70) <sup>1</sup>
<b>Künstliche Schwimmdecke</b> Strohhäcksel	80 <sup>2</sup> (70-90)	80 (70-90)
Granulate	85 <sup>2</sup> (80-90)	85 (80-90)
Schwimmfolie	85 <sup>2</sup> (80-90)	85 (80-90)

<sup>1</sup> je nach Ausprägung der Schwimmdecke, <sup>2</sup> i.d.R. ist eine natürliche Schwimmdecke vorhanden, wenn nicht, kann künstliche Schwimmdecke zum Tragen kommen

Die Daten wurde abgeleitet aus den Literaturangaben der Tabelle A10 im Anhang. Die Zahlen in Klammern geben die Streubreite an. In der Regel bildet sich in der Rindergülle innerhalb von 4-6 Wochen eine natürliche Schwimmdecke. Die Festigkeit und Dichtigkeit dieser Schwimmdecke ist abhängig von der Fütterung, der Größe der Behälteroberfläche sowie den Homogenisierungsintervallen. Während des Aufbaus der Schwimmdecke ist bereits eine Minderung der Ammoniak-Emissionen gegeben. In Schweinegülle hingegen entsteht meist keine natürliche Schwimmdecke. Eine Abdeckung mit den oben beschriebenen Materialien ist unerlässlich, wenn die Emissionen gemindert werden müssen.

Zu den künstlichen Schwimmdecken werden einfache Strohhäckseldecken (4-8 kg/m<sup>2</sup>), Granulatschüttungen (Blähton, Perlite) oder Schwimmfolien gezählt. Diese künstlichen Schwimmdecken (außer Schwimmfolie) können beim Homogenisieren zerstört werden und müssen sich wieder regenerieren. Bei Blähton und Perlite funktioniert dies schnell, bei Strohhäcksel dauert es i.d.R. ca. 1 Woche, ggf. muss neues Stroh aufgebracht werden.

Eine nahezu vollständige Emissionsminderung ist durch eine feste Abdeckung wie eine Betonabdeckung zu erzielen. Auch die Abdeckung mittels Zeltdach oder Schwimmfolie erreicht eine Minderung in diesem Bereich.

### Kosten der Minderungsmaßnahmen

Für die Abdeckung von Güllelagerbehältern wurden in den letzten Jahren einige Kostenbewertungen durchgeführt, deren Angaben - auf jährliche Kosten pro m<sup>2</sup> umgerechnet - in Tabelle 3.15 dargestellt.

Tab. 3.15: Kosten der Güllelager-Abdeckung unterschiedlicher Untersuchungen

Rundbehälter		Kosten in DM/m <sup>2</sup> und Jahr								
Quelle	LK Weser-Ems			Dabbert & Frede			LK-Rheinland			Döhler Maul Ackermann
	min	max	Mittel	min	max	Mittel	min	max	Mittel	
<b>Strohhäcksel</b>	2,5	4	<b>3,25</b>	1,0	3,1	<b>2,1</b>				<b>2,1 1,3</b>
<b>Granulat</b>	4,8	8,4	<b>6,6</b>	3,4	4,8	<b>4,1</b>	4,1	5,4	<b>4,8</b>	<b>2,6 6</b>
<b>Schwimmfolie</b>	6,4	8,5	<b>7,45</b>	5,1	6,2	<b>5,7</b>	6,6	8,8	<b>7,7</b>	<b>6,8</b>
<b>Zeltdach</b>	8,5	11,7	<b>10,1</b>	7,2	9,3	<b>8,2</b>	6,6	8,8	<b>7,7</b>	<b>10,9 24</b>
<b>Betondecke</b>	12	16	<b>14</b>	8,7	12,2	<b>10,5</b>	10,5	13,1	<b>11,8</b>	
<b>Befahrbare Betondecke</b>				11,7	14,1	<b>12,9</b>				<b>13,1 11,2</b>

Quelle: Darstellung FAL nach Literaturlauswertung

Deutlich zu erkennen ist die Streuung der von den unterschiedlichen Autoren ermittelten Kosten. Ein klares Kostengefälle zwischen den relativ "teuren" festen Abdeckungen und den weniger haltbaren Alternativen wurde aber in allen Erhebungen eindeutig festgestellt. Die längere Lebensdauer der festen Abdeckungen stellt keinen hinreichenden Ausgleich für die erheblich höheren Investitionskosten dar.

Da die Emissionsfaktoren je nach Abdeckung und Tierart ebenfalls unterschiedliche Ausprägungen aufweisen (s. Tab. 3.14), kann aus den reinen Kosten für die Abdeckung allerdings noch keine Aussage über die NH<sub>3</sub>-Minderungskosten abgeleitet werden.

Durch die Einbeziehung von Informationen über die Anzahl der Stallplätze, die den gewählten Güllebehältergrößen zugeordnet werden können und den entsprechenden Emissionsfaktoren lassen sich die Kosten auf die Ammoniak-Emissionsminderung beziehen (s. Tab. 3.16). Diese Kostenabschätzungen wurden mit mittleren Kosten aus der Tabelle 3.15 errechnet.

Eine klare Kostendegression ist im Hinblick auf die Größe der Güllebehälter festzustellen, hier macht sich ein günstiges Verhältnis von Volumen zu Behälteroberfläche bemerkbar. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Kosteneffizienz in der Reduktion der Ammoniak-Emissionen im Mastschweinebereich deutlich besser ausfällt als bei Milchvieh. Die Reduktion der NH<sub>3</sub>-Emissionen um ein Kilogramm durch die Abdeckung eines großen Güllelagers (1500 m<sup>3</sup>), etwa mit einer Schwimmfolie würde bei Milchkühen ca. 11 DM kosten, bei Mastschweinen 0,70 DM.

Tab. 3.16: Spezifischen Kosten der Emissionsminderung bei der Abdeckung von Güllebehältern

Minderungsmaßnahmen	Minderungskosten (DM) pro kg reduziertes NH <sub>3</sub>					
	Milchvieh			Mastschweine		
	Behältervolumen					
	250 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>	1500 m <sup>3</sup>	250 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>	1500 m <sup>3</sup>
Strohhäcksel	10,2	8,7	5,6	0,5	0,4	0,3
Granulat	14,3	12,2	7,8	1,0	0,8	0,5
Schwimmfolie	20,0	17,2	10,9	1,4	1,2	0,7
Zeltdach	23,6	20,2	12,9	2,0	1,7	1,1
Betondecke	26,2	22,5	14,3	2,2	1,9	1,2
Befahrbare Betondecke	27,2	23,3	14,8	2,3	2,0	1,3

Quelle: Berechnungen FAL

Die ermittelten Kosten pro kg NH<sub>3</sub> Minderung liegen bei Milchkühen generell um ein 10-faches und mehr höher als bei Mastschweinen. Diese extremen Unterschiede resultieren daraus, dass bei Rindergülle von einer natürlichen Schwimmdecke als Referenzsituation ausgegangen wird. Da diese gegenüber einer Gülle ohne Schwimmdecke (wie der Schweinegülle) nur sehr geringe Emissionen aufweist, hat die Abdeckung des Güllelagers nur eine verhältnismäßig schwache Wirkung auf die emittierte NH<sub>3</sub>-Menge.

Auch wenn sich Sauengülle häufig vor allem in ihrem TS-Gehalt und der Ammonium-Konzentration von Mastschweinegülle unterscheidet und dies analog für die Gülle von Mastbulen und Milchkühen gilt, wurde auf eine differenzierte Kostenberechnung für diese Produktionsrichtungen verzichtet. Generell ist zu beachten, dass die berechneten Werte eine Pauschalisierung darstellen, da der Ammoniakverlust aus dem Güllelager auf der Basis der durchschnittlichen N-Ausscheidung (s. Anhang, Tab. A6) berechnet wurde. Extensive Haltungsverfahren können z.T. erheblich von diesem Mittelwert abweichen.

### **3.3 Wirtschaftsdüngerausbringung**

#### **3.3.1 Flüssigmistausbringung**

Nach Isermann (1990) sind die  $\text{NH}_3$ -Verluste während und nach der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, verglichen mit den Verlusten bei deren Anfall und Lagerung, am bedeutungsvollsten. Rund 35 % der gesamten Ammoniak-Emissionen treten während bzw. nach der Ausbringung von Jauche, Mist und vor allem Gülle auf (Bless und Sattelmacher 1991). Die Ausbringungsverluste bei Schweinegülle sind bedingt durch das bessere Fließverhalten geringer als bei Rindergülle. Die Ausbringung bietet daher die effektivste Möglichkeit einer deutlichen  $\text{NH}_3$ -Emissionsminderung.

Beim Festmist liegen die Verluste des ausgebrachten Ammonium-N im Mittel zwischen 60 und 70 % (Frick et al. 1996) und damit etwas höher als bei Flüssigmist. Dies ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, dass Mist im Vergleich zur Gülle nicht in den Boden versickern kann. Da aber im Festmist im Vergleich zur Gülle wenig Ammonium-N enthalten ist, sind die Verluste bezogen auf den Gesamt-N geringer als bei Gülle.

Die wesentliche physikalische Ursache für die  $\text{NH}_3$ -Freisetzung ist die bei der Ausbringung angestrebte gleichmäßige Verteilung des Wirtschaftsdüngers. Hierdurch wird eine sehr große Oberfläche ausgebildet, an der Ammoniak verstärkt ausgast. Die Höhe der Ausgasungen bei und nach der Ausbringung ist abhängig von den im Anschluß beschriebenen Einflussfaktoren.

#### **Witterung**

Wichtige meteorologische Einflussgrößen für die  $\text{NH}_3$ -Freisetzung sind Temperatur, Feuchtigkeit (Regen) und Wind. Untersuchungen zeigen, dass mit steigender Temperatur auch die  $\text{NH}_3$ -Verluste zunehmen. Niedergehender Regen bewirkt eine Reduktion der  $\text{NH}_3$ -Freisetzung, da der Flüssigmist, der evtl. an der Pflanzenoberfläche anhaftet, abgewaschen wird und dadurch die emissionsaktive Oberfläche verkleinert wird. Luftbewegungen an der Erdoberfläche begünstigen die  $\text{NH}_3$ -Freisetzung aus dem Flüssigmist. Die Ausbringung bei regnerischem, kühlem und windarmem Wetter führt daher zu deutlichen Emissionsminderungen. Für Festmist gelten die gleichen Überlegungen wie bei der Ausbringung von Flüssigmist, d. h. die Emissionen werden durch die Ausbringung bei regnerischem, kühlem und windarmem Wetter reduziert.

#### **Konsistenz des Wirtschaftsdüngers**

Eine dünnflüssige Konsistenz des Flüssigmistes bewirkt ein schnelleres Abfließen von der Pflanzenoberfläche und gleichfalls ein leichteres und schnelleres Eindringen in den Boden. Der Rinder-Flüssigmist enthält einen relativ hohen Anteil an Trocken- und Schleimstoffen, welche die Fließfähigkeit herabsetzen und die Emission fördern. Die Homogenisierung und Verdünnung des Rinder-Flüssigmistes mit Wasser unmittelbar vor der Ausbringung erhöht die Fließfähigkeit und bewirkt eine Senkung der  $\text{NH}_3$ -Ausgasung. Die Fließfähigkeit von Schweine-Flüssigmist ist deutlich besser als die von Rinder-Flüssigmist. Über den Einfluss der Konsistenz von Festmist auf die  $\text{NH}_3$ -Emissionen bei der Ausbringung liegen keine Erkenntnisse vor.

#### **Vegetation**

Eine zum Zeitpunkt der Wirtschaftsdüngerausbringung vorhandene oder nicht vorhandene Vegetation übt einen deutlichen Einfluss auf die Höhe der Ammoniak-Emissionen aus. Wird Flüssigmist in einen stehenden Pflanzenbestand direkt auf oder in den Boden gebracht, dann wird der Flüssigmist dem direkten Witterungseinfluss (Sonneneinstrahlung) zumindest teilweise ent-

zogen. Die im Pflanzenbestand vorherrschenden klimatischen Bedingungen führen zu einer Reduzierung der Emissionen.

## **Boden**

Bodenparameter, welche die Infiltrationsgeschwindigkeit der Gülle beeinflussen, haben einen deutlichen Einfluss auf die Höhe der Ammoniak-Emissionen. Döhler (1990) ermittelte in Laborversuchen unterschiedliche  $\text{NH}_3$ -Verluste in Abhängigkeit von Bodenart und -struktur. Bei Lehmböden wurden Verluste in Höhe 14 % des ausgebrachten  $\text{NH}_4\text{-N}$  und bei sandigem Lehm von 22 % ermittelt. Die höheren Verluste auf sandigen Böden werden durch eine niedrigere Sorptionsfähigkeit erklärt. Ein gestörtes Aufnahmevermögen des Bodens, bedingt durch einen extremen Wassergehalt (ausgetrocknet, wassergesättigt oder gefroren) oder eine ungünstige Bodenstruktur (verdichtet, verschlämmt), erhöhen die Ammoniak-Verluste. Dieselbe ungünstige Wirkung hat eine geschlossene Pflanzendecke oder eine Strohhäckselschicht, da sie eine große emittierende Oberfläche haben und die Versickerung der Gülle behindern (Frick et al. 1996).

## **Referenzverfahren (Breitverteiler)**

Bei diesen Verteilern wird die Gülle mit Hilfe von Pralltellern, Prallköpfen, Schwenkdüsen oder Düsenbalken nach unten abgestrahlt und breitflächig, bei maximal 12 m Arbeitsbreite, auf die Pflanzen beziehungsweise die Bodenoberfläche verteilt. Verteiler dieser Bauart entsprechen gemäß den Regelungen der Verwaltungsvorschriften der Bundesländer zum Vollzug der Düngeverordnung (1996) derzeit dem Stand der Technik. Bei der Breitverteilung ergibt sich unmittelbar beim Verteilungsvorgang eine große Kontaktfläche zwischen dem Flüssigmist und der Umgebungsluft mit der Konsequenz einer relativ hohen  $\text{NH}_3$ -Freisetzung. Untersuchungen zeigen, dass direkt beim Verteilvorgang  $\text{NH}_3$ -Verluste von durchschnittlich 5 % (UBA 1994) der applizierten Ammoniummenge auftreten können. Durch Wind wird die Verteilgenauigkeit dieses Verteilsystems stark herabgesetzt. Breitverteiler dieser Bauart zeichnen sich durch einen einfachen technischen Aufbau aus. Dieser bedingt gleichfalls deutlich niedrigere Investitionen in die Ausbringtechnik im Vergleich zu den im folgenden beschriebenen Minderungstechniken.

## **Minderungstechniken bei der Flüssigmistausbringung**

### **Schleppschlauch**

Beim Schleppschlauchverteiler wird der Flüssigmist von einer Pumpe oder einem Kompressor am Verteilfahrzeug mit geringem Druck in eine Verteileinrichtung gefördert und in die einzelnen Ablaufschläuche, die an einem klappbaren Gestänge angebracht sind, in gleichen Mengen dosiert. Typische Schleppschlauchverteiler haben eine Arbeitsbreite von 12–15 m. Die einzelnen Ablaufschläuche sind in der Regel in einem Abstand von 20–40 cm zueinander angeordnet. Am Ende des Ablaufes befinden sich keine speziellen Verteileinrichtungen. Der Ablauf wird während des Ausbringvorganges durch den Pflanzenbewuchs (soweit vorhanden) geschleppt. Die Gülle wird auf der Bodenoberfläche in etwa 5–10 cm breiten Streifen abgelegt. Bedingt durch die kleinere benetzte Oberfläche führt der Schleppschlauch im Vergleich zur Breitverteilung bei Schweinegülle zu ca. 30 % und bei Rindergülle zu ca. 10 % geringeren  $\text{NH}_3$ -Freisetzungen auf unbewachsenem Ackerland bzw. Grünland mit geringem Aufwuchs (Ausbringungstemperatur 15°C). Größere Minderungen von bis zu 30 % bei Rindergülle und 50 % bei Schweinegülle sind mit dieser Technik auf bewachsenem Ackerland und Grünland zu erzielen (vgl. Tab. 3.18 und 3.19). Weitergehende Minderungen sind nur auf Ackerland durch die Kombination mit einem geeigneten Einarbeitungsverfahren möglich. Die Verteilgenauigkeit kann durch Windeinflüsse nicht beeinträchtigt werden. Da die Gülle nur auf dem Boden abgelegt

wird, eignet sich der Schleppschlauch auch für Standorte mit einem höheren Steinanteil in der Ackerkrume und im Grünland (s. Übersicht 3.1). Es ist keine gesteigerte Zugkraft und Antriebsleistung erforderlich. Für Standorte mit größeren Hangneigungen sind Schleppschlauchverteiler, speziell mit größeren Arbeitsbreiten, nur bedingt geeignet, da die Verteilgenauigkeit negativ beeinflusst wird und die Gestänge nur schwer parallel zum Boden geführt werden können.

### **Schleppschuh**

Beim Schleppschuhverteiler wird Flüssigmist ebenfalls in einzelne an einem Verteilergestänge angebrachte Ablaufschläuche dosiert. Schleppschuhverteiler besitzen eine Arbeitsbreite von 3-12 m. Die einzelnen Ablaufschläuche haben in der Regel einen Abstand von 20–30 cm zueinander. Am Ende jedes Ablaufes befinden sich spezielle Verteileinrichtungen, die in Form einer schuhähnlichen Verstärkung bzw. Schleifkufe ausgeführt sind. Dieser Verteiler wird während des Ausbringvorganges durch den Pflanzenbestand geschleppt. Dabei wird der Pflanzenbewuchs etwas beiseite gedrückt und die Flüssigmistablage erfolgt in den obersten Bodenbereich (0–3 cm), so dass Pflanzenverschmutzungen und Beschädigungen weitgehend verhindert werden. Bei dieser Ausbringung sind die  $\text{NH}_3$ -Freisetzungen im Vergleich zur Breitverteilung bei Schweinegülle auf Grün- und Ackerland um ca. 60 % geringer (Ausbringungstemperatur 15°C). Für Rindergülle ist mit Emissionsminderungen von 30 % auf Acker und 40 % auf Grünland zu rechnen (s. Tab. 3.18 und 3.19). Die Verteilgenauigkeit kann durch Windeinflüsse nicht beeinträchtigt werden. Auf Standorten mit größeren Hangneigungen wird die Verteilgenauigkeit negativ beeinflusst. Die Einarbeitung bedingt einen gesteigerten Zugkraftbedarf gegenüber dem Breitverteiler. Im Vergleich zum Referenzverfahren führen gleiche oder kleinere Arbeitsbreiten aufgrund des höheren technischen Aufwandes und des höheren Kraftbedarfes zu merklichen Minderungen der Ausbringleistung des Verfahrens.

### **Güleschlitztechnik**

Beim Güleschlitzverteiler wird Flüssigmist wie beim Schleppschlauchverteiler beschrieben in einzelne an einem Verteilergestänge angebrachte Ablaufschläuche dosiert. Typische Güleschlitzverteiler besitzen eine Arbeitsbreite von 6-9 m, wobei die einzelnen Ablaufschläuche in der Regel in einem Abstand von 20–30 cm zueinander angeordnet sind. Die Applikation erfolgt mit Hilfe einer schuhähnlichen Verstärkung bzw. Schleifkufe, der eine Schneidscheibe oder ein Messer vorweggeführt wird. Diese Werkzeuge schneiden den Pflanzenbestand sowie den Boden mit einer Einarbeitungstiefe von 4-8 cm auf. In diesen Schlitz wird die Gülle abgelegt. Je tiefer die Einarbeitung erfolgt, um so größer ist die  $\text{NH}_3$ -Emissionsminderung. Mit der Güleschlitztechnik sind auf Grünland bei der Ausbringung von Rindergülle Emissionsminderungen von 60 % und bei Schweinegülle von 80 % möglich (Referenz Breitverteiler, Ausbringung bei 15°C). Mit steigender Einarbeitungstiefe erhöht sich der spezifische Zugleistungsbedarf. Bei Grünland können Narbenschädigungen auftreten, z. B. wenn eine zu große Flüssigmistgabe ausgebracht, wenn eine ungünstige Wachstumsperiode gewählt oder mit einem nicht geeigneten Schlitzgerät ausgebracht wird. Auf Standorte mit größeren Hangneigungen wird die Verteilgenauigkeit negativ beeinflusst. Die Schlitztechnik ist nicht für Standorte mit erhöhtem Steinanteil oder für sehr flachgründige Standorte geeignet. Die Technik besitzt einen gesteigerten Zugkraftbedarf gegenüber dem Schleppschuhverteiler. Im Vergleich zum Referenzverfahren führen kleinere Arbeitsbreiten, ein höheres Gewicht und der höhere Kraftbedarf zu deutlichen Minderungen der Ausbringleistung des Verfahrens.

## **Güllegrubber**

Beim Güllegrubber wird Flüssigmist wie beim Schleppschlauchverteiler beschrieben in einzelne an einem Grubber angebrachte Ablaufschläuche dosiert. Typische Güllegrubber besitzen eine Arbeitsbreite von 3-6 m, wobei die einzelnen Ablaufschläuche üblicher Weise in einem Abstand von 20 - 40 cm zueinander angeordnet sind. In der Regel wird der Boden mit einem Grubberzinken in einer Tiefe von 5 – 15 cm bearbeitet und in dessen unmittelbarer Verlängerung die Gülle in den Erdstrom während der Bearbeitung abgelegt. Daneben werden auch Scheibeneggen verwendet, bei denen der Boden mit Hohlscheiben bearbeitet und die Gülle in gleicher Weise in den Erdstrom abgelegt wird. Diese Technik wird auf unbewachsenem Ackerland und in modifizierter pflanzenreihenangepasster Bauweise in niedrigen Reihenkulturen eingesetzt. Mit diesen Einarbeitungstechniken können größere Stickstoffmengen zur Düngung zur Verfügung gestellt und  $\text{NH}_3$ -Emissionsminderungen von bis zu 90 % (Frick und Menzi 1997) erzielt werden. Der Einsatz eines Güllegrubbers beinhaltet die gezielte Applikation von Flüssigmist in den Boden in einer Überfahrt während der Bodenbearbeitung und macht einen weiteren Arbeitsgang mit dem Ziel der Gülleeinarbeitung überflüssig. Der relativ tiefe Eingriff in den Boden erfordert einen gesteigerten Zugkraftbedarf gegenüber dem Schlitzverteiler. Im Vergleich zum Referenzverfahren führen deutlich geringere Arbeitsbreiten, ein höheres Gewicht und der höhere Zugkraftbedarf zu deutlichen Minderungen der Ausbringleistung des Verfahrens.

## **Flüssigmisteinarbeitung**

Die Einarbeitung der Gülle hat unverzüglich nach der Ausbringung zu erfolgen (DüVO, 1996). Sie ist jedoch in Abhängigkeit vom jeweils verwendeten Exaktverteiler, vom gewählten Einsatztermin sowie der Kultur, in der Flüssigmist appliziert werden soll, in unterschiedlichem Umfang durchführbar. Werden zur Gülleausbringung Techniken verwendet, die Gülle in den Boden einbringen (Schleppschuh, Gülleschlitz), so ist eine zusätzliche Einarbeitung nicht sinnvoll. Mit der Kombination von Flüssigmistausbringung und unmittelbar anschließender Bodenbearbeitung (z. B. Grubbern oder Saatbettvorbereitung) sind auf unbewachsenem Ackerland Emissionsminderungen von bis zu 80 % erzielbar. Diese Minderungen sind jedoch nur erreichbar, wenn die Gülle innerhalb einer Stunde nach der Ausbringung eingearbeitet wird. Die Einarbeitung zu einem späteren Zeitpunkt führt zu geringeren Emissionsminderungen (s. Tab. 3.18 und 3.19). Die in der Literatur beschriebene Einarbeitung mit dem Pflug erreicht u. U. noch höhere Minderungen, ist jedoch mit einem größeren Zeitaufwand verbunden und kann deshalb letztendlich zu höheren Emissionen führen. Eine Flüssigmisteinarbeitung auf Grünland mit einem Bodenbearbeitungsgerät ist nicht möglich. Für die Minderungsszenarien wurde von einer direkten Flüssigmisteinarbeitung (ohne Zeitverzögerung) ausgegangen. Daher liegt die Höhe der Emissionsminderung für den Güllegrubber und Gülleausbringung mit Einarbeitung in der gleichen Größenordnung.

In Übersicht 3.1 sind alle aufgeführten Minderungstechniken und ihre bevorzugten Einsatzbereiche dargestellt.

Übersicht 3.1: Übersicht über Minderungstechniken, deren Wirkungen und Anwendungsbeschränkungen bei der Flüssigmistausbringung

<b>Wirtschafts- düngerart</b>	<b>Minderungs- technik</b>	<b>Einsatzgebiet</b>	<b>Flüssigmistherkunft</b>	<b>Emissions- minderung (%)</b>	<b>Beschränkungen der Anwendbarkeit</b>
<b>Flüssigmist</b>	Schleppschlauch	Grünland (ohne/mit Auf- wuchs >30 cm)	Rind	10/30	Hangneigung < 10 %, Größe und Form des Feldes,
			Schwein	30/50	
		Ackerland (ohne/mit Auf- wuchs >30 cm)	Rind	8/30	Hangneigung < 10 %, Größe und Form des Feldes, Fahrgas- senabstände
			Schwein	30/50	
	Schleppschuh	Grünland (mit Aufwuchs)	Rind	bis 40	Hangneigung < 10 %, nicht auf sehr steinigen Böden, Größe und Form des Feldes
			Schwein	bis 60	
		Ackerland (mit Aufwuchs)	Rind	bis 30	Hangneigung < 10 %, nicht auf sehr steinigen Böden, Größe und Form des Feldes, Fahrgassenabstände,
			Schwein	bis 60	
	Güleschlitz- technik	Grünland (mit Aufwuchs)	Rind	bis 60	Hangneigung < 10 %, nicht auf steinigen oder verdichteten Böden, hoher Zugkraftbedarf
			Schwein	bis 80	
	Güllegrubber	Ackerland (ohne Aufwuchs)	Rind	>80	nicht auf sehr steinigen Böden, sehr hoher Zugkraftbedarf, nur bedingt auf bewachsenem Ackerland (Reihenkulturen) ein- setzbar
			Schwein	>80	
<b>Flüssigmist</b>	Einarbeitung	Ackerland (ohne Aufwuchs)	Rind/ Schwein	bis 80	sehr hoher Zugkraftbedarf, nicht auf sehr schweren Böden
<b>Festmist</b>		Ackerland	Rind/ Schwein	bis 90	sehr hoher Zugkraftbedarf, nicht auf sehr schweren Böden
		(ohne Aufwuchs)	Geflügeltrockenkot	bis 100	

Die angegebenen Emissionsminderungen beziehen sich immer auf das Referenzsystem Breitverteiler bei einer Temperatur von 15°C.



## Günstige Einsatztermine für flüssige Wirtschaftsdünger

Bei der Wahl eines günstigen Ausbringtermins entsteht ein Zielkonflikt zwischen dem Ziel maximaler Emissionsminderungen und den pflanzenbaulichen Erfordernissen. Die weitreichendsten Emissionsminderungen sind mit der direkten Gülleeinarbeitung erreichbar. Diese ist überwiegend nur auf unbewachsenem Ackerland im Sommer und Herbst durchführbar. Die Ausbringung zu diesem Termin wird jedoch durch die Regelung der DüVO (max. Ausbringungsmenge von 40 kg anrechenbarer N) begrenzt. Der Dungeinsatz im Sommer und Herbst vor dem Anbau von Hackfrüchten ist aus pflanzenbaulichen Gründen überwiegend auf die Düngung von Zwischenfrüchten im Vorjahr begrenzt. Der Nährstoffbedarf der Hackfrucht wird dann hauptsächlich aus dem Bodenvorrat gedeckt. Zwischenfrüchte spielen aber in vielen Regionen nur eine unbedeutende Rolle. Die Ausbringung zu Hackfrüchten, insbesondere Mais, erfolgt daher vor allem im Frühjahr. Günstige Termine aus pflanzenbaulicher Sicht sind in Abbildung A1 im Anhang dargestellt. Tabelle 3.17 stellt die kumulativen Ammoniak-Verluste bei unterschiedlichen Temperaturen für die Ausbringung von Rinder- und Schweinegülle mit Breitverteiler und Schleppschlauch dar.

Tab. 3.17: Kumulative Ammoniak-Verluste nach der Ausbringung von Rinder- und Schweinegülle mit Breitverteiler und Schleppschlauch bei unterschiedlichen Temperaturen

Stunden	Ammoniak-Verluste in % des appl. Ammonium-N,							
	Breitverteiler, ohne Einarbeitung				Schleppschlauch			
	5 °C	10 °C	15 °C	25 °C, auf Stroh	5 °C	10 °C	15 °C	25 °C , auf Stroh
<b>Rindergülle</b>								
1	3	6	10	20	1	3	4	10
2	5	10	15	43	3	6	8	20
4	10	18	26	65	6	10	15	35
6	14	25	35	78	9	14	20	47
12	22	32	43	85	15	22	30	70
24	26	36	46	90	22	31	39	80
48	30	40	50	90	26	36	46	90
<b>Schweinegülle</b>								
1	1	2,5	4	15	1	1	2	8
2	2	4	6	25	1,5	2	4	12
4	4	6	9	37	2	4	6	19
6	5	8	11	47	3	5	8	25
12	8	12	16	60	4,5	8	11	37
24	9	16	21	67	6	11	14	48
48	10	20	25	70	7	14	18	55

Quelle: KTBL

Erfolgt die Ausbringung im Frühjahr bei niedrigen Temperaturen in den wachsenden Pflanzenbestand (Grünland und Winterkulturen) sind die kumulativen Verluste am geringsten. Oftmals

konkurrieren diese pflanzenbaulich sinnvollen Termine aber mit der Befahrbarkeit der Böden und der Vermeidung von Bodendruck. Das Ausbringen in wachsende Bestände ab einer Wuchshöhe von ca. 25 cm kann zu Schäden am Pflanzenbestand führen. Ideale Ausbringzeiten ergeben sich im Frühjahr im wesentlichen in der Zeit von Mitte Februar bis Ende April.

Die Tabellen 3.18 und 3.19 geben die differenzierten Emissionsminderungsprozente wieder, die sich durch die Anwendung der verschiedenen Ausbringtechniken auf Acker- und Grünland unter Berücksichtigung unterschiedlicher Einarbeitungszeiten ergeben.

Die dargestellten Minderungsprozente stellen die Verhältnisse bei 15°C Lufttemperatur bei der Ausbringung dar.

Tab. 3.18: Emissionsminderungsprozente bei der Ausbringung von Rindergülle

<b>Einsatzbereich</b>		<b>Acker</b>		<b>Grünland</b>	
		% Minderung <sup>1</sup>	E-Faktor <sup>2</sup>	% Minderung <sup>1</sup>	E-Faktor <sup>2</sup>
<b>Ausbringtechnik</b>					
<b>Breitverteiler</b>	Ohne Einarbeitung	Referenz	0,5 <sup>3</sup>	Referenz	0,6
	Einarbeitung 1 h	80	0,1	-	-
	4 h	48	0,26	-	-
	6 h	30	0,35	-	-
	12 h	14	0,43	-	-
	24 h	8	0,46	-	-
	48 h	0	0,50	-	-
<b>Schleppschlauch</b>	Ohne Bewuchs	8	0,46 <sup>3</sup>	10	0,54
	Einarbeitung 1 h	92	0,04		
	4 h	70	0,15		
	6 h	60	0,20		
	12 h	40	0,30	-	
	24 h	22	0,39		
	48 h	8	0,46		
	Mit Bewuchs Bestand > 30 cm auf Ackerland	30	0,35		
	Höherer Bestand (ca. 10 cm) Grün- land			30	0,42
<b>Schleppschuh</b>		30	0,35	40	0,36
<b>Schlitzverfahren</b>		-	-	60	0,24

<sup>1</sup>Die Minderungsprozente beziehen sich immer auf das Referenzsystem "Breitverteiler", 15°C Lufttemperatur bei der Ausbringung; <sup>2</sup>Emission vom verbliebenen NH<sub>4</sub>-N nach der Lagerung; <sup>3</sup>Die grauen Felder entsprechen den kumulativen Ammoniak-Verlusten nach 48 h, vgl. Tab 3.17

Tab. 3.19: Emissionsminderungsprozente bei der Ausbringung von Schweingülle

<b>Einsatzbereich</b>		<b>Acker</b>		<b>Grünland</b>	
		% Minde- rung <sup>1</sup>	E-Faktor <sup>2</sup>	% Minde- rung <sup>1</sup>	E-Faktor <sup>2</sup>
<b>Ausbringtechnik</b>					
<b>Breitverteiler</b>	Ohne Einarbeitung	Referenz	0,25 <sup>3</sup>	Referenz	0,3
	Einarbeitung 1 h	84	0,04	-	-
	4 h	64	0,09	-	-
	6 h	56	0,11	-	-
	12 h	36	0,16	-	-
	24 h	16	0,21	-	-
	48 h	0	0,25	-	-
<b>Schleppschlauch</b>	Ohne Bewuchs	30	0,18 <sup>3</sup>	30	0,21
	Einarbeitung 1 h	92	0,02		
	4 h	76	0,06		
	6 h	68	0,08		
	12 h	56	0,11	-	
	24 h	44	0,14		
	48 h	32	0,17		
	Mit Bewuchs Bestand > 30 cm	50	0,13		
	Höherer Bestand (ca. 10 cm) Grün- land			50	0,15
<b>Schleppschuh</b>		60	0,10	60	0,12
<b>Schlitzverfahren</b>		-	-	80	0,06

<sup>1</sup> Die Minderungsprozente beziehen sich immer auf das Referenzsystem "Breitverteiler", 15°C Lufttemperatur bei der Ausbringung; <sup>2</sup> Emission vom verbliebenen NH<sub>4</sub>-N nach der Lagerung; <sup>3</sup> Die grauen Felder entsprechen den kumulativen Ammoniak-Verlusten nach 48 h, vgl. Tab 3.17

## Jaucheausbringung

Für die Jaucheausbringung kommen die gleichen Ausbringtechniken infrage wie für die Flüssigmistausbringung. Die Einflüsse der Verteiltechniken auf die Höhe der möglichen Emissionsminderungen bewegen sich in etwa in der gleichen Größenordnung wie bei der Ausbringung von Gülle. In Tabelle 3.20 ist exemplarisch der Einfluss der Einarbeitung zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf den Umfang möglicher Emissionsminderungen dargestellt.

Tab. 3.20: Mögliche Emissionsminderungen bei der Ausbringung von Jauche

	Jauche	
	% Minderung <sup>1</sup>	E-Faktor <sup>2</sup>
<b>Breitverteiler</b>	Referenz	0,2
Einarbeitung in 1h	90	0,02
4 h	65	0,07
24 h	10	0,18
48 h	5	0,19

<sup>1</sup> Die Minderungsprozente beziehen sich immer auf das Referenzsystem "Breitverteiler", 15°C Lufttemperatur bei der Ausbringung

<sup>2</sup> Emission vom verbliebenen NH<sub>4</sub>-N nach der Lagerung

## Kosten der Minderungstechniken bei der Flüssigmist- und Jaucheausbringung

Die Kosten für die Ausbringung von Flüssigmist werden u. a. von der gewählten Ausbringtechnik, der technischen Maschinenausstattung und der Auslastung bestimmt. Ferner üben die Faktoren Entfernung zwischen Lagerstätte und Verwertungsfläche, sowie Arbeitsbreite des Verteilgerätes und Arbeitsgeschwindigkeit auf die erzielbare Ausbringleistung einen großen Einfluss aus. Diese bestimmt maßgeblich die entstehenden Kosten bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger mit Emissionsminderungstechniken.

Die Kostenermittlung erfolgte bei allen Minderungstechniken anhand gleicher Transportentfernungen, Transportgeschwindigkeiten sowie Ausbringgeschwindigkeiten. Um dem Einfluss unterschiedlicher jährlicher Ausbringmengen, bedingt durch unterschiedliche Betriebsstrukturen und Wirtschaftsdüngeranfallmengen gerecht zu werden, wurden die Kosten für eine eigenmechanisierte Ausbringung von 500, 1000, und 3000 m<sup>3</sup>, sowie für die überbetriebliche Ausbringung von 30000 m<sup>3</sup> abgeschätzt. Zusätzlich wurden die Kosten für den überbetrieblichen Einsatz des Güllegrubbers bei einer jährlichen Ausbringmenge von 90000 m<sup>3</sup> (in den neuen Bundesländern häufig anzutreffendes Verfahren) kalkuliert. Der mit zunehmender Ausbringmenge steigenden Maschinenbelastung wurde durch gesteigerte Reparaturansätze Rechnung getragen.

In den Berechnungen wurde angenommen, dass mit zunehmender Ausbringmenge der technische Anspruch an die Ausbringtechnik (z. B. gelenkte Achsen, computergesteuerte Ausbringmengenregelung) sowie die erzielbaren Ausbringleistungen steigt. Demzufolge wurde bei größeren Jahresmengen eine größere Arbeitsbreite und gleichzeitig höherwertiger Ausstattung der Geräte unterstellt. Diese Annahmen spiegeln sich in unterschiedlichen Anschaffungspreisen der

Minderungstechniken bei verschiedenen jährlichen Güllemengen wider.

Die im folgenden genannten Kosten zeigen den Einfluss unterschiedlicher Jahresmengen auf die Ausbringungskosten bei den beschriebenen unterschiedlichen Minderungstechniken. Die ausgewiesenen Kosten der Einarbeitung im Verfahren *Breitverteilung mit Einarbeitung* sind nach dem gleichen Verfahren kalkuliert wie die Kosten der Einarbeitung von Festmist. Abweichend davon wurde hier angenommen, dass bei der eigenmechanisierten Ausbringung Wartezeiten von 50 % der erforderlichen Bearbeitungszeit und bei überbetrieblicher Ausbringung von 15 % entstehen. Somit betragen die Mehrkosten entsprechend 50 bzw. 15 % der errechneten Einarbeitungskosten.

Tab. 3.21: Kosten der eigenmechanisierten Gülleausbringung

<b>Jahresmenge</b>	<b>500-m<sup>3</sup></b>	<b>Mehrkosten gegenüber Breitverteiler</b>	<b>1000-m<sup>3</sup></b>	<b>Mehrkosten gegenüber Breitverteiler</b>	<b>3000-m<sup>3</sup></b>	<b>Mehrkosten gegenüber Breitverteiler</b>
<b>Verteiltechnik</b>	<b>DM/m<sup>3</sup></b>	<b>DM/m<sup>3</sup></b>	<b>DM/m<sup>3</sup></b>	<b>DM/m<sup>3</sup></b>	<b>DM/m<sup>3</sup></b>	<b>DM/m<sup>3</sup></b>
<b>Breitverteiler (Referenz)</b>	10,1	-	7,5	-	4,4	-
<b>mit Einarbeitung (innerhalb 1-4 h)</b>	11,6	1,5	9,0	1,5	5,9	1,5
<b>Schleppschlauch</b>	13,5	3,4	10,7	3,2	5,8	1,4
<b>Schleppschuh</b>	18,2	8,1	14,6	7,1	7,5	3,1
<b>Schlitzverteiler</b>	21,5	11,4	17,5	10,0	8,8	4,4
<b>Güllegrubber</b>	20,1	10,0	16,9	9,4	9,4	5,0

Quelle: KTBL

Im Vergleich zum Referenzverfahren gleiche Arbeitsbreiten und Stundenleistungen führen beim Schleppschlauchverteiler trotz höherer Investitionen nur zu relativ geringen Mehrkosten gegenüber der Breitverteilung. Beim Einsatz von Schleppschuh, Schlitzverteiler und Güllegrubber wirken sich die abnehmenden Verfahrensleistungen infolge abnehmender Arbeitsbreite und die deutlich höheren Anschaffungspreise zunehmend deutlich auf die Kosten/Mehrkosten der Minderungstechniken aus.

Die Kosten der Minderungstechniken liegen in der gewählten überbetrieblichen Variante deutlich unter den Kosten der eigenmechanisierten Gülleausbringung mit Minderungstechniken bei 500 und 1000 m<sup>3</sup>/a. Ab einer Jahresmenge von ca. 3000 m<sup>3</sup>/a können Emissionsminderungstechniken auch eigenmechanisiert weitgehend kostengünstig eingesetzt werden. Der Sonderfall des überbetrieblichen Einsatzes eines Güllegrubbers bei einer jährlichen Ausbringmenge von 90000 m<sup>3</sup> stellt mit Abstand die günstigste Emissionsminderungstechnik dar. Sie ist jedoch nur unter bestimmten Bedingungen (geringe Hof-Feld-Entfernung; große Schläge) praktikabel und erreicht auch nur dann das niedrige Kostenniveau.

Somit wird ersichtlich, dass speziell für kleinere Betriebe mit einem geringeren Wirtschaftsdüngeranfall die überbetriebliche Gülleausbringung eine Möglichkeit darstellt, Emissionsminderungstechniken relativ kostengünstig einzusetzen.

Tab. 3.22: Kosten der überbetrieblichen Gülleausbringung

<b>Jahresmenge</b>	<b>Gezogenes 10-m<sup>3</sup>-Faß mit zwei Zubringern, 30000m<sup>3</sup> DM/m<sup>3</sup></b>	<b>Mehrkosten ge- genüber Breitver- teiler DM/m<sup>3</sup></b>	<b>Güllegrubber, mit zwei Zubringern, 90000m<sup>3</sup> DM/m<sup>3</sup></b>
<b>Verteiltechnik</b>			
<b>Breitverteiler</b>	6,0		-
<b>Breitverteiler mit Einar- beitung (1-4h)</b>	6,4	0,4	-
<b>Schleppschlauch</b>	6,1	0,1	-
<b>Schleppschuh</b>	6,9	0,9	-
<b>Schlitzverteiler</b>	7,7	1,7	-
<b>Güllegrubber</b>	8,8	2,8	5,2

Quelle: KTBL

### Kosten der separaten Flüssigmisteinarbeitung

Die Einarbeitung der Gülle hat unverzüglich nach der Ausbringung zu erfolgen (vgl. Tab 3.18.-3.20, Emissionsminderung in Abhängigkeit von der Zeit der Einarbeitung). Zur Senkung der dabei entstehenden Kosten kann die separate Einarbeitung im Zuge eines erforderlichen Bodenbearbeitungsganges erfolgen. Hierzu ist es erforderlich, den Ausbringtermin an einer unmittelbar folgenden Bodenbearbeitung auszurichten, um dadurch einen zusätzlichen Bearbeitungsgang einzusparen. Unter dieser Annahme entstehen Mehrkosten dadurch, dass der erforderliche Schlepper mit angebautem Bodenbearbeitungsgerät (Grubber; einschließlich Fahrer) nicht kontinuierlich das Feld bearbeiten kann. Dies ist dadurch bedingt, dass die Einarbeitung des Flüssigmistes mit einer größeren Schlagkraft erfolgt als die Applikation. Je nach Organisationsform besitzen die Ausbringverfahren eine unterschiedliche Leistungsfähigkeit (Stundenleistung) mit der Folge unterschiedlich langer Wartezeiten des Einarbeitungsgerätes. In den Berechnungen der Mehrkosten wurde kalkuliert, dass der Anteil der Wartezeiten bei einphasiger Ausbringung 50 % der erforderlichen Bearbeitungszeit beträgt und bei mehrphasiger Ausbringung 15 %. Mehrphasige Ausbringung bedeutet den getrennten Einsatz von Transport- und Einarbeitungsgeräten. Somit betragen die Mehrkosten entsprechend 15 bzw. 50 % der Einarbeitungskosten.

Die Einarbeitung verursacht demnach unabhängig von der anfallenden Jahresgüllemenge bei der eigenmechanisierten Gülleausbringung Mehrkosten in Höhe von 1,5 DM/m<sup>3</sup> und bei der überbetrieblichen Gülleausbringung in Höhe von 0,4 DM/m<sup>3</sup>.

### Fazit: Kosten der Flüssigmistausbringung

Schleppschuh, Gülleschlitz und Güllegrubber werden in naher Zukunft aufgrund der im Vergleich zum Schleppschlauchverteiler zum Teil erheblich höheren Verfahrenskosten und der gleichfalls im Vergleich zum Schleppschlauchverteiler deutlich beschränkten Einsetzbarkeit für kleinere Flüssigmistmengen keine umfassende einzelbetriebliche Verbreitung erlangen. Diese Techniken sind vielmehr dazu geeignet, den Flüssigmist überbetrieblich (Maschinenringe, Lohnunternehmen, etc.) aufgrund deutlich gesteigerter Maschinenauslastung und dadurch verminderter Verfahrenskosten emissionsarm auszubringen. Bei größeren einzelbetrieblichen Güllemengen können auch einzelbetrieblich Emissionsminderungstechniken kostengünstig eingesetzt werden.

## Minderungskosten pro gemindertes kg Ammoniak bei der Flüssigmistausbringung

Die Minderungskosten pro gemindertes kg Ammoniak sind in Tabelle 3.23 zusammengestellt.

Tab. 3.23: Minderungskosten pro kg reduziertes  $\text{NH}_3$  bei der Ausbringung von Rinder- und Schweinegülle auf Ackerland

Minderungsmaßnahmen	Minderungskosten (DM) pro kg reduziertes NH <sub>3</sub>					
	Milchvieh			Mastschweine		
	Ausbringungsmenge					
	500 m <sup>3</sup>	1000 m <sup>3</sup>	3000 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>	1000 m <sup>3</sup>	3000 m <sup>3</sup>
Einarbeitung (1-4)	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2
Schleppschlauch (ohne Bewuchs)	36,0	33,8	14,8	12,1	11,4	5,1
Schleppschlauch (mit Bewuchs)	9,6	9,0	4,0	7,3	6,8	3,0
Schleppschuh	23,0	20,2	8,9	14,5	12,8	5,6
Güllegrubber	9,5	8,9	4,7	12,0	11,2	6,0

Quelle: Berechnungen KTBL; Referenz: Ausbringung mit Breitverteiler ohne Einarbeitung, Ackerland, E-Faktor Schweinegülle 0,25; Rindergülle 0,5; Lufttemperatur bei der Ausbringung 15°C)

Die Minderungskosten stellen immer die Mehrkosten gegenüber der Referenz dar. Die geringsten Kosten pro gemindertes kg Ammoniak entstehen durch die direkte Einarbeitung nach Breitverteilung. Im Milchviehbereich sind die Kosten für den Einsatz von Schleppschlauch in wachsende Bestände und der Einsatz des Güllegrubbers die kostengünstigsten Maßnahmen pro gemindertes kg  $\text{NH}_3$ . Hingegen sind die Verfahren Schleppschuh und Schleppschlauch bei Ausbringung ohne Bewuchs sehr kostenintensiv pro gemindertes kg  $\text{NH}_3$ . In der Schweinehaltung müssen für die Varianten Schleppschuh und Güllegrubber ähnlich hohe Kosten zur Reduzierung pro gemindertem kg Ammoniak-Stickstoff aufgewendet werden.

### 3.3.2 Festmistausbringung

Weitgehend unabhängig von der Art der Ausbringtechnik (Stalldung-/ Tellerbreitstreuer) verursacht Festmist, insbesondere ammoniumreicher Festmist (Stapelmist), wenn er nicht unmittelbar nach der Ausbringung eingearbeitet wird, hohe  $\text{NH}_3$ -Freisetzungen. Es ist davon auszugehen, dass die Einflussfaktoren (Lagerzeit an der Oberfläche, Wetter, Menge, Konsistenz usw.) eine vergleichbare Wirkung haben wie bei der Flüssigmistausbringung. Die  $\text{NH}_3$ -Emissionen (bezogen auf das ausgebrachte  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) liegen bei der Ausbringung von Tiefstall- und Stapelmist bei ca. 50 % (Frick et al.1996); bei einer schnellen Einarbeitung (innerhalb einer Stunde) betragen sie weniger als 10 % (s. Tab. 3.24). Stapelmist mit höherem Ammonium-Anteil ist demnach wie Flüssigmist möglichst unmittelbar nach der Ausbringung einzuarbeiten.

## Referenzverfahren (Stalldung-/Tellerbreitstreuer ohne Einarbeitung)

Die Festmistausbringung erfolgt bislang überwiegend mit Stalldungstreuern mit zwei liegenden bzw. mit zwei bis vier stehenden Streuwalzen. Diese Geräte, die derzeit in der Landwirtschaft noch weit verbreitet sind, haben eine Arbeitsbreite von i.d.R. 2–6 m. Da bei diesen Streuern der Festmist ohne Vorzerkleinerung ausgebracht wird, erreichen sie bei größeren Arbeitsbreiten meist nur unzureichende Verteilgenauigkeiten. Die geringe Streubreite erfordert eine längere Wegstrecke und längere Arbeitszeiten zur Ausbringung des Festmistes. Neuere Fahrzeuge zur Festmistausbringung werden überwiegend mit Tellerbreitstreuerwerk ausgestattet. Bei Tellerbreitstreuerwerken sind den Streuerwerkzeugen Fräswalzen zur Vorzerkleinerung des Streugutes vorangestellt, wodurch eine bessere Verteilgenauigkeit erzielt werden kann. Sie erreichen eine Arbeitsbreite von i.d.R. 12 m. Die größere Arbeitsbreite hat jedoch keinen Einfluss auf die Höhe der Emissionen.

## Minderungstechniken der Festmistausbringung

### Einarbeitung von Festmist und Geflügeltrockenkot

Bei der Festmistausbringung besteht die Möglichkeit zur Minderung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen nur in der direkten Einarbeitung sowie in der Wahl eines günstigen Ausbringungstermins. Techniken zur direkten Minderung der Emissionen gibt es derzeit keine. Eine wirkungsvolle Festmisteinarbeitung kann nur auf unbewachsenem Ackerland erfolgen. Zur Einarbeitung können unterschiedlich Bodenbearbeitungsgeräte (Pflug, Grubber, Scheibenegge) verwendet werden. Die Wirkung der Festmisteinarbeitung auf die Höhe der Emissionen erfolgt unabhängig von der gewählten Verteiltechnik, ist jedoch stark davon abhängig, wie schnell sie erfolgt. Diese Schnelligkeit ist nicht nur organisatorisch bedingt, sondern auch abhängig vom gewählten Einarbeitungsgerät und der mit diesem erzielbaren Arbeitsgeschwindigkeit. Mögliche Emissionsminderungen durch die Einarbeitung des Festmistes sind der folgenden Tabelle 3.24 zu entnehmen.

Tab. 3.24: Emissionsminderungsprozente bei der Ausbringung von Tiefstall-/Stapelmist und Geflügeltrockenkot

	Tiefstall- und Stapelmist		Geflügeltrockenkot	
	% Minderung <sup>1</sup>	E-Faktor <sup>2</sup>	% Minderung <sup>1</sup>	E-Faktor <sup>2</sup>
<b>Stalldung-/ Tellerbreitstreuer</b>	Referenz	0,9	Referenz	0,9
Einarbeitung in 1 h	90	0,1	100	0
4 h	50	0,45	80	0,18
24 h	0	0,9	50	0,45
48 h	-	-	0	0,9

<sup>1</sup>Die Minderungsprozente beziehen sich immer auf das Referenzsystem "Breitverteiler"

<sup>2</sup>Emission vom verbliebenen  $\text{NH}_4\text{-N}$  nach der Lagerung



## Günstige Einsatztermine für feste Wirtschaftsdünger

Für Festmist gelten im wesentlichen die gleichen Anforderungen und Einschränkungen hinsichtlich ihres günstigsten Einsatztermins. Feste Wirtschaftsdünger unterliegen jedoch keiner generellen Sperrfrist und können demnach gemäß der Zusammenstellung im Anhang (s. Anhang Abb. A2) zeitlich schon vor den flüssigen eingesetzt werden.

## Kosten der Festmist- und Geflügeltrockenkotausbringung und Einarbeitung

Die Ausbringkosten wurden für die beiden derzeit gängigen Ausbringtechniken Stalldung- und Tellerbreitstreuer kalkuliert.

Zur Vermeidung unnötiger  $\text{NH}_3$ -Emissionen nach der Ausbringung fester Wirtschaftsdünger und von Geflügeltrockenkot ist wie oben beschrieben eine unmittelbare Einarbeitung erforderlich. Zur Senkung der dabei entstehenden Kosten kann die Einarbeitung im Zuge eines erforderlichen Bodenbearbeitungsganges erfolgen. Hierzu ist es erforderlich, den Ausbringtermin an einer unmittelbar folgenden Bodenbearbeitung auszurichten, um dadurch einen zusätzlichen Bearbeitungsgang einzusparen. Unter dieser Annahme entstehen dann Mehrkosten dadurch, dass der erforderliche Schlepper mit angebautem Bodenbearbeitungsgerät (Grubber; einschließlich Fahrer) nicht kontinuierlich das Feld bearbeiten kann. Dies ist dadurch bedingt, dass die Einarbeitung des Festmistes mit einer größeren Schlagkraft (Flächenleistung) erfolgt als die Applikation. Je nach verwendeter Verteiltechnik – Stalldungstreuer oder Tellerbreitstreuer – besitzen die Ausbringverfahren eine unterschiedliche Leistungsfähigkeit mit der Folge unterschiedlich langer Wartezeiten des Einarbeitungsgerätes. In den Berechnungen der Einarbeitungskosten wurde kalkuliert, dass der Anteil der Wartezeiten bei Stalldungstreuern 60 % der erforderlichen Bearbeitungszeit beträgt und bei Tellerbreitstreuern 50 %. Somit betragen die Mehrkosten entsprechend 60 bzw. 50 % der Einarbeitungskosten. Unter den getroffenen Annahmen belaufen sich die entstehenden Mehrkosten für die Einarbeitung von Festmist auf einen Betrag von 1,4-1,7 DM/m<sup>3</sup>. Damit entsprechen die Einarbeitungskosten im Mittel ca. 10-25 % der Ausbringkosten, je nach gewählter Ausbringtechnik.

Tab. 3.25: Kosten der Festmistausbringung

<b>Jahresmenge</b>	<b>1000-m<sup>3</sup></b>	<b>Mehrkosten für Einarbeitung</b>	<b>3000-m<sup>3</sup></b>	<b>Mehrkosten für Einarbeitung</b>
<b>Verteiltechnik</b>	<b>DM/m<sup>3</sup></b>	<b>DM/m<sup>3</sup></b>	<b>DM/m<sup>3</sup></b>	<b>DM/m<sup>3</sup></b>
<b>Stalldungstreuer</b>	10,1	-	5,4	-
<b>+ Einarbeitung (1-4h)</b>	11,8	1,7	7,1	1,7
<b>Tellerbreitstreuer</b>	15,0	-	7,0	-
<b>+ Einarbeitung (1-4h)</b>	16,4	1,4	8,4	1,4

### 3.4 Emissionsfaktoren Mineraldünger

Als Emissionsfaktoren für die Mineraldüngerausbringung werden folgende Werte festgelegt.

Tab. 3.26: Emissionsfaktoren für die Ausbringung von Mineraldünger

Dünger	NH <sub>3</sub> -N kg · kg <sup>-1</sup>
	EEA (1997)
vor 1994	
Kalkammonsalpeter	0.02
Harnstoff	0.15
NP-Dünger	0.05
NK- und NPK-Dünger	0.02
Andere Ammonsalpetersorten und Kalkstickstoff <sup>1)</sup>	0.02
seit 1994	
Kalkammonsalpeter	0.02
Harnstoff	0.15
NP-Dünger	0.05
NK- und NPK-Dünger	0.02
Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung	0.08
Andere Einnährstoffdünger <sup>2)</sup>	0.02

<sup>1)</sup> beinhaltet "Stickstoff-Magnesia, Ammoniumnitrat, Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung, Ammonsulfatsalpeter und andere Salpetersorten"

<sup>2)</sup> beinhaltet Stickstoff-Magnesia, Ammoniumnitrat, Ammonsulfat, Ammonsulfatsalpeter und andere Salpetersorten, Kalkstickstoff"

Quelle: Dämmgen und Grünhage 2001

## 4 Bestimmung der Ausgangssituation

### 4.1 Ergebnisse erster Berechnungen mit dem Programm GAS-EM

Das Kalkulationsprogramm GAS-EM folgt der Systematik der Emissionsberechnung des Guidebook. Eine ausführliche Dokumentation des Kalkulationsprogramms findet sich in Dämmgen et al. (2002).

#### 4.1.1 Berechnungen von Emissionen auf Länderebene für die Jahre 1990 bis 1999

##### 4.1.1.1 Ammoniak-, Lachgas- und Stickstoffmonoxid-Emissionen aus gedüngten Kulturen

Alle Ergebnisse der Emissionsberechnungen sind im Ergebnisteil (E1 - E39) am Ende des Berichtes abgebildet. Die Emissionen von  $\text{NH}_3$  und  $\text{N}_2\text{O}$  aus der **Anwendung von Mineraldüngern** können für die Neuen Bundesländer wegen fehlender statistischer Daten erst ab 1994 berechnet werden (Tab. 100100.1 und 100100.2). Für ganz Deutschland wie auch für alle Bundesländer wird ein Anstieg der Emissionen berechnet.

Die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen aus **Ernterückständen** sind deutlich geringer als die aus Mineraldüngern. Sie weisen nach 1992 weder insgesamt noch für einzelne Bundesländer einen erkennbaren Trend auf (Tab. 100100.3).

Die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen aus N-Einträgen mit Exkrementen beim **Weidegang** sind in Tab. 100100.4 zusammengestellt. Die Mengen der N-Einträge werden bisher unter Verwendung des einfacheren Verfahrens (GAS-EM-1050a) berechnet, hieraus dann die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen. Für die Neuen Bundesländer wird ein Rückgang der Emissionen für wenige Jahre nach der Wiedervereinigung berechnet. Weitere Trends lassen sich nicht erkennen.

Alle emittierten reaktiven N-Verbindungen werden letztlich wieder deponiert. Das Rechenverfahren geht davon aus, dass sie dann irgendwann mikrobiellen Prozessen im Boden zugänglich sind und zur  $\text{N}_2\text{O}$ -Bildung beitragen. Dies wird als **indirekte Emission von  $\text{N}_2\text{O}$  aus Böden** bezeichnet. Die Ergebnisse der Rechnungen sind in Tab. 100100.5 zusammengestellt. Anfangs der 90er Jahre wird ein Rückgang der Emissionen beobachtet, der praktisch ausschließlich in den Neuen Bundesländern "erwirtschaftet" wird (vgl. S. 101). Danach ist kein Trend erkennbar.

Austräge von reaktiven N-Spezies in Grundwässer führen gegebenenfalls nach längeren Transportwegen zur Bildung von  $\text{N}_2\text{O}$  und damit zu einer von der ausgewaschenen N-Menge abhängigen **indirekten Emission von  $\text{N}_2\text{O}$  nach Austrägen ins Grundwasser**. Diese Emissionen wurden bisher nicht berücksichtigt (Tab. 100100.6 ist noch leer).

**Bewirtschaftete organische Böden** emittieren vergleichsweise große Mengen an  $\text{N}_2\text{O}$ . Das Rechenverfahren setzt die Kenntnis der Flächen bewirtschafteter organischer Böden voraus. Die eingesetzten Flächen wurden nur einmal ermittelt. Sie sind mangels weiterer Erkenntnisse für die gesamte Zeit eingesetzt worden.

Die **Summen der  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen** aus gedüngten Kulturen sind in Tab. 100100.8 zusammengestellt. Es ist zu berücksichtigen, dass die Angaben für die Neuen Bundesländer und Deutschland insgesamt für die Jahre vor 1994 die Emissionen aus der Mineraldüngeran-

wendung nicht berücksichtigen. Nach 1994 lässt sich der Einfluss der zunehmenden Emissionen aus Mineraldüngung auch in den Gesamt-Emissionen ablesen.

Alle Berechnungen von Emissionen aus gedüngten Kulturen erfolgen derzeit nach einfacheren Verfahren. Detailliertere Verfahren setzen insbesondere die Anwendung von Modellen voraus, welche die  $\text{N}_2\text{O}$ -Bildung an die Intensität der mikrobiellen Prozesse statt an die Einträge koppeln.

#### 4.1.1.2 Ammoniak- und Lachgas-Emissionen aus ungedüngten Kulturen

**Stickstoff-Fixierung** findet auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland praktisch nur bei Leguminosen-Anbau und auf Grünlandflächen statt. Zu den Grünlandflächen mit erheblichem Kleeanteilen liegen aber keine Informationen vor. Die Verfahren zur Abschätzung der daraus resultierenden  $\text{NH}_3$ - und  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen in Tab. 100200.1 und 100200.2 ist sicher sehr ungenau, was allerdings bei der relativen Größe der Emissionen kaum ins Gewicht fällt. Auf die Abschätzung von  $\text{NO}$ -Emissionen wird vorläufig verzichtet. Tab. 100200.3 ist deshalb leer.

#### 4.1.1.3 Methan-Emissionen aus der Tierhaltung

Der mikrobielle Aufschluss von Zellulose ist mit  $\text{CH}_4$ -Bildung verbunden. Insbesondere **Wiederkäuer** emittieren bei der Verdauung große Mengen an  $\text{CH}_4$ . Emissionen, die durch Anwendung des einfacheren Verfahrens mit einheitlichen Emissionsfaktoren pro Tier einer Klasse berechnet werden, spiegeln lediglich die Entwicklung der Tierzahlen, hier insbesondere die der Rinder wider. (Tab 100400.1).

$\text{CH}_4$  entsteht auch bei der **Lagerung von Wirtschaftsdüngern**. Das zur Abschätzung der Emissionen herangezogenen einfachere Verfahren verwendet mittlere regionale Emissionsfaktoren aus IPCC (1997). Die Ergebnisse sind in Tab. 100400.2 dargestellt.

Die Summen der  $\text{CH}_4$ -Emissionen aus der Tierhaltung sind in Tab. 100400.3 zusammengefasst.

Wegen der Bedeutung der  $\text{CH}_4$ -Ausscheidungen aus der Landwirtschaft wird die Verwendung detaillierter Methoden angestrebt. Hierfür fehlen zur Zeit noch verwertbare Daten.

#### 4.1.1.4 Lachgas-Emissionen aus der Anwendung von Wirtschaftsdüngern

Wie N-Einträge aus Mineraldüngern oder der atmosphärischen Deposition unterliegen auch die N-Mengen, die mit **Wirtschaftsdüngern** in Böden eingetragen werden, der teilweisen mikrobiellen Umwandlung zu  $\text{N}_2\text{O}$ . Die N-Einträge wurden entsprechend den einfacheren Methoden aus N-Ausscheidungen und  $\text{NH}_3$ -Verlusten abgeschätzt. Die Ergebnisse sind in Tab. 100500.22 dargestellt.

### Qualität und Bedeutung der Berechnung von Emissionen auf Länderebene

Alle Berechnungen stützen sich auf **einfachere Verfahren**. Die bei diesen Verfahren benutzten **Emissionsfaktoren** wurden für Europa als Bezugsfläche und für Zeiträume, für die man ein "mittleres Klima" ansetzen kann (d.h. mindestens 3 Jahre), abgeleitet. Dies entspricht der ursprünglichen Zielsetzung etwa von IPCC, ein weltweites oder zumindest supranationales Problem angemessen behandeln zu können. Die Verwendung der entsprechenden Emissi-

onsfaktoren für  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{CO}_2$  unterhalb dieses Aggregationsniveaus ist prinzipiell nicht sinnvoll.

Die Berechnung nationaler Emissionen auf diesem Wege, etwa zur Erfüllung der Minderungsauflagen in internationalen Verträgen, ist unangemessen. Hierzu müssen Verfahren eingesetzt werden, welche die nationalen oder subnationalen Gegebenheiten widerspiegeln. Gesamt-Emissionsfaktoren, die nicht deutlich erkennbar aus partiellen Emissionsfaktoren abgeleitet sind - dies trifft für alle  $\text{N}_2\text{O}$ - und  $\text{CH}_4$ -Emissionsfaktoren zu – lassen keinen Spielraum zur Emissionsminderung als die Verringerung der entsprechenden Aktivitäten.

Emissionsfaktoren für die Abschätzung von Emissionen aus der Tierhaltung beziehen sich zur Zeit auf "Tier-Zahlen" oder "Tierplatz-Zahlen". Die Erhebungsverfahren für die **Statistiken** zur Ermittlung von "besetzten Tierplätzen" sind jedoch unvollständig. Wünschenswert wäre deshalb der Bezug der Emissionsfaktoren auf statistisch erfasste Tierzahlen oder die Vereinheitlichung der Erhebungsverfahren in allen jeweils betroffenen Vertragsstaaten, um wenigstens eine Vergleichbarkeit von Zahlen zu gewährleisten.

Die zur Erstellung der Tabellen vorhandenen **Datensätze** der Aktivitäten waren mehr oder weniger unvollständig. Um überhaupt sinnvoll rechnen zu können, wurden die Datenlücken dadurch geschlossen, dass jeweils der letzte Datensatz aus einem Vorjahr in die Lücke eingesetzt wurde. Dieses Verfahren erscheint sinnvoll, ist aber noch nicht durch eine Konvention bestätigt.

Die Angabe von nationalen Emissionen nach den Vorschriften der internationalen Übereinkommen macht Sinn, wenn die wesentlichen Teilemissionen **vollständig erfasst** sind und über die Größenordnung der weniger bedeutenden Teilemissionen Klarheit besteht. In den Berechnungen der  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen fehlen zur Zeit noch die Berechnung der indirekten Emissionen als Folge von N-Einträgen ins Grundwasser.

Die Abschätzung von **NO-Emissionen** ist a priori unvollständig. Sie wird aber bisher nur als Mittel zur Abschätzung der indirekten Emissionen von  $\text{N}_2\text{O}$  benutzt. Die Verbesserung des Schätzverfahrens ist aus dieser Sicht nicht vorrangig. Dies wird sich wahrscheinlich ändern, wenn man erkennt bzw. quantifizieren kann, welche Bedeutung der NO-Emissionen für die Bildung von  $\text{HNO}_2$  und dessen Rolle in der Chemie der bodennahen Atmosphäre hat.

Die Angabe von mehr als zwei Stellen für Emissionen täuscht **Genauigkeiten** vor, die nicht vorhanden sind. Dies ist dem Rechenverfahren geschuldet. Eine Angabe von Zahlen wie in der Summenzeile der Tabelle 4.2 entspricht der Wirklichkeit besser.

#### **4.1.2 Berechnung von Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung auf Landkreisebene für die Jahre 1994 und 1996**

$\text{NH}_3$  wird aus N-Spezies in den tierischen Ausscheidungen emittiert, bis diese nach Lagerung und Ausbringung im Boden festgelegt oder zu Nitrat oxidiert wurden. Die Menge der N-Ausscheidungen und die Menge von ammonifizierbarem N in den Ausscheidungen variieren mit der Tierart, innerhalb der Art mit Leistung und Fütterung. Weidegang und unterschiedliche Formen der Stallhaltung, der Lagerung und der Ausbringung der Wirtschaftsdünger beeinflussen die Mengen der  $\text{NH}_3$ -Emissionen erheblich.  $\text{NH}_3$ -Emissionsfaktoren sind deshalb selbst für eine betrachtete Tierkategorie regional und zeitlich variabel.

#### **4.1.2.1 Räumliche und zeitliche Auflösung**

$\text{NH}_3$  ist ein reaktives Gas, dessen Wirkungen im wesentlichen lokal bzw. kleinräumig sind. Die Wirkungen sind in der Regel Folgen chronischer Belastungen. Zur Darstellung von Ursache-Wirkung-Beziehungen reichen also räumlich hoch aufgelöste Emissionskataster mit mäßiger zeitlicher Auflösung. Für mechanistische Modelle, die Depositionen unter Einschluss von Transmissionen (lateralen Transport und Atmosphärenchemie) berechnen, sind gleichwohl auch höhere zeitliche Auflösungen erforderlich.

Im Gegensatz zu den Emissionen der Treibhausgase sind deshalb für die Emissionen der versauernden und eutrophierenden Gase räumlich und zeitlich vergleichsweise hoch auflösende Rechenverfahren notwendig.

Das Modell GAS-EM liefert in Verbindung mit dem Modell RAUMIS zur Zeit nur räumlich auf Landkreisebene aufgelöste Emissionsdaten. Die Emissionsfaktoren beschreiben zeitliche Mittel; die zeitliche Auflösung ist deshalb im Prinzip schlechter als ein Jahr.

#### **4.1.2.2 Differenzierung der partiellen Emissionsfaktoren**

Zur Ableitung von Minderungsmaßnahmen müssen Gesamt-Emissionsfaktoren in sinnvolle partielle Emissionsfaktoren aufgelöst werden, für die dann partielle Aktivitätsdaten vorhanden sein müssen. Die Anforderungen an den Detaillierungsgrad der Rechnungen steigt mit der Bedeutung der Tierkategorie. Tabelle 4.1 gibt wieder, für welche Tierkategorie in GAS-EM partielle Emissionsfaktoren angewendet werden oder wo die Anwendung wünschenswert wäre. GAS-EM sieht grundsätzlich für alle Tierkategorien die umfassende Anwendung partieller Emissionsfaktoren vor.

Für alle Tierkategorien ohne eine Differenzierung der Fütterung wurden nationale Mittel der N-Mengen in den Ausscheidungen und deren Gehalte an ammonifizierbarem N (total ammoniacal nitrogen, TAN) verwendet.

#### **4.1.2.3 Die räumliche Variabilität von Emissionsfaktoren und der partiellen Emissionsfaktoren am Beispiel der Milchkuh-Haltung**

Aus den Häufigkeitsverteilungen von Fütterung, Leistung und Haltung der Tiere sowie denen von Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger wurden für 1994 und 1996 partielle und Gesamt-Emissionsfaktoren für alle Kreise außerhalb der Stadtstaaten berechnet. Die Karten 4.1 und 4.11 sollen beispielhaft veranschaulichen, in welchen Schritten die Emissionen aus Ausscheidungen und partiellen Emissionsfaktoren berechnet werden. Sie sollen dabei mehr der Erläuterung des Verfahrens als der Darstellung der Ergebnisse selbst dienen.

Karte 4.1 stellt die räumliche Verteilung der aus der Milchleistung und der Futterzusammensetzung modellierten N-Ausscheidungen der Milchkuhe dar. Sie lässt zunächst die weite Spanne der Werte erkennen, die deutlich über den default-Werten des einfacheren Verfahrens liegen. Die Legende in der Karte gibt neben den Klassen der mittleren Ausscheidungen (in den Klammern) auch Angaben der Anzahl der Kreise, für die diese Ausscheidungen berechnet wurden. Wegen der unterschiedlichen Tierbesatzdichten der einzelnen Kreise sind diese Zahlen nur ein grobes Instrument zur Abschätzung der Beschreibung der Häufigkeitsverteilung der Ausscheidungsklassen.

Tab. 4.1: Fütterung, Leistung und Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere und Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger – eine Übersicht über die durchgeführten und wünschenswerten Differenzierungen im Programm GAS-EM

SNAP	Tierkategorien	Differenzierung bei					
		Fütte- rung	Leistung	Haltung	Lage- rung	Behand- lung	Ausbrin- gung
100501	Milchkühe						
100502	Kälber						
	Weibliche Schlachtrinder						
	Männliche Schlachtrinder						
	Mutterkühe						
100503	Mastschweine						
100504	Sauen						
100505	Schafe						
100506	Pferde						
100507	Legehennen						
100508	Masthähnchen und –hühnchen						
100509	Junghennen						
	Gänse						
	Enten						
	Puten						
100510	Pelztiere						

	Differenzierung durchgeführt
	Differenzierung wünschenswert, statistische Daten fehlen
	Differenzierung wünschenswert, Funktionen und statistische Daten fehlen

In den Karten 4.2 bis 4.5 sind die räumlichen Verteilungen der wesentlichen partiellen Emissionsfaktoren für die Milchkuh-Haltung zusammengestellt. Sie beruhen auf den von RAUMIS modellierten Häufigkeitsverteilungen von zeitlichen Anteilen des Weidegang und Stallhaltung, von Aufstellungsverfahren, Lagerungs- und Ausbringungs-Verfahren in Kombination mit den jeweiligen verfahrenstypischen Emissionsfaktoren. Bei Festmist-Verfahren werden die durch Stroh eingetragenen N-Mengen und die Verteilung von TAN auf Mist und Jauche berücksichtigt. Eine mögliche Umwandlung von organischem Stickstoff zu TAN während der Lagerung von Gülle und Mist wurde noch nicht einbezogen.

Karte 4.6 gibt die Summen der in den Karten 4.2 bis 4.5 dargestellten partiellen Emissionsfaktoren wieder. Durch Multiplikation mit den Tierzahlen eines jeden Kreises und Division durch dessen Fläche wird die in Karte 4.7 dargestellte Verteilung der potentiellen Emissionsdichten der Milchkuh-Haltung gewonnen. Erwartungsgemäß entsprechen sich die Karten der Emissionsfaktoren und der potentiellen Emissionsdichten nur teilweise.

Potentielle und reale Emissionsdichten unterscheiden sich, wenn in nennenswertem Umfang Wirtschaftsdünger aus dem Landkreis, in dem die entsprechenden Aktivitäten angesiedelt sind, in andere Landkreise transportiert werden<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Weitere Transportwege erscheinen vor allem bei Geflügelkot lohnend. Inwieweit die Karten mit realen Emissionsdichten von Transporten beeinflusst werden, ist noch nicht abzusehen.

Während die Karten der Emissionsfaktoren im Prinzip ohne „weiße Flecke“ hergestellt werden können, lassen sich Karten für Emissionsdichten nur berechnen, wenn die entsprechenden Aktivitätsdaten statistisch verfügbar sind. Aus Gründen des Datenschutzes wird die Darstellung für jede Tierkategorie im Prinzip lückig bleiben. Werden Summen von Emissionsdichten berechnet, so müssen alle wesentlichen Tierkategorien erfasst werden können.

In ähnlicher Differenzierung wurden die partiellen Emissionsfaktoren für die anderen Rinder gewonnen. Die Karte 4.8 bis 4.10 geben beispielhaft die unterschiedlichen potentiellen  $\text{NH}_3$ -Gesamt-Emissionsdichten für die Rinder-, die Schweine- und die Geflügelhaltung im Jahr 1996 wieder, Karte 4.11 die potentiellen  $\text{NH}_3$ -Emissionsdichten aus der Tierhaltung insgesamt. Die räumliche Variabilität ist in den meisten Fällen erheblich und belegt die Notwendigkeit der räumlichen Differenzierung.

Eine umfassende Deutung der Karten und eine weitergehende Aufschlüsselung von Emissionsfaktoren erscheint beim derzeitigen Stand der Arbeit (siehe unten) noch nicht sinnvoll.

#### 4.1.3 Vorläufige nationale Emissionen von Treibhausgasen und versauernden und eutrophierenden Gasen aus der Landwirtschaft für die Jahre 1994 und 1996

In Tabelle 4.2 sind die aus den Tab. 100100.1 bis 100500.23 summierten nationalen Emissionen für Deutschland zusammengestellt, soweit sie bisher berechnet wurden. Nur für 1994 und 1996 liegen vollständige statistische Datensätze vor. Die indirekten Emissionen von Lachgas als Folge von N-Einträgen ins Grundwasser fehlen noch.

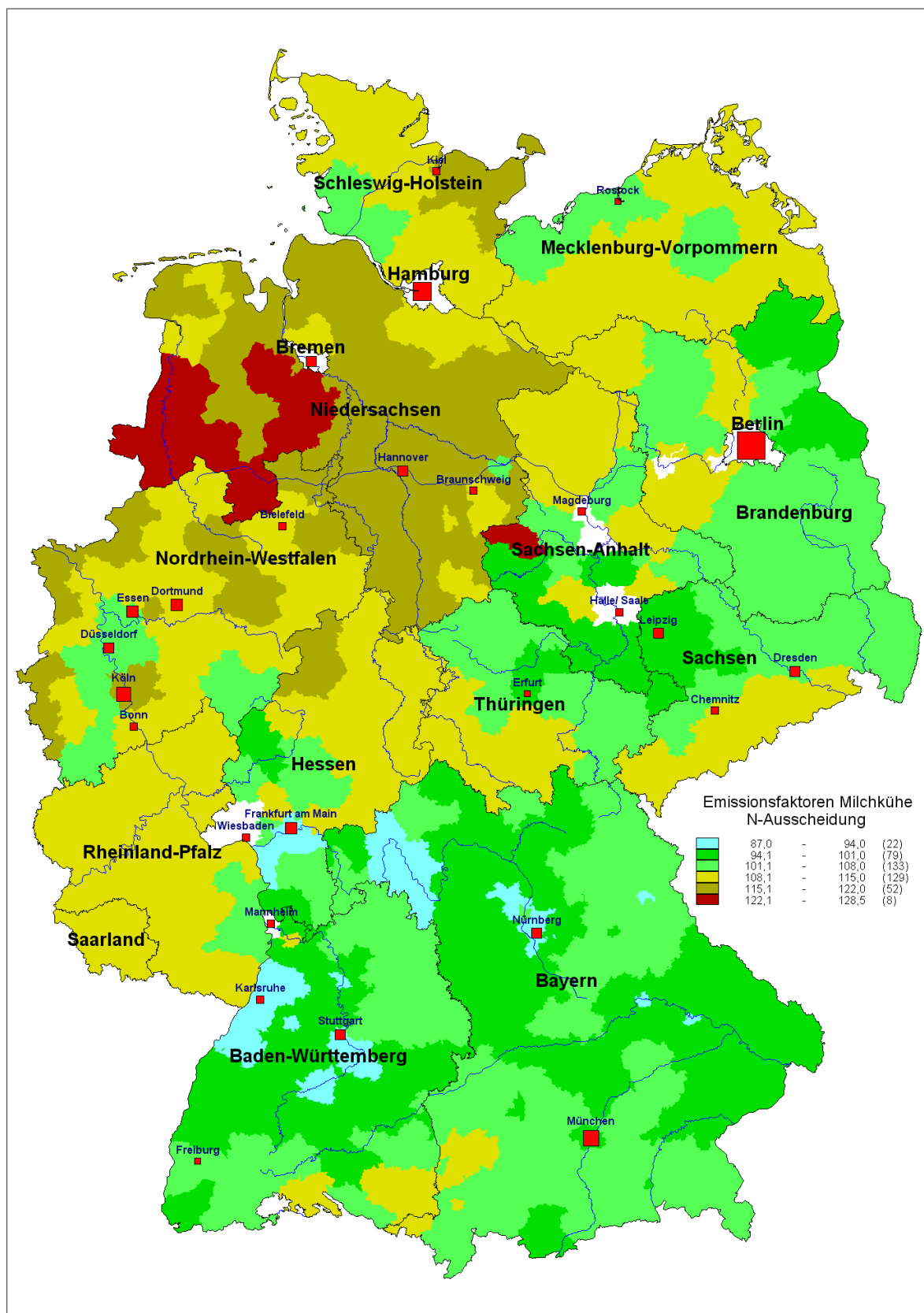
Tab. 4.2: Mit GAS-EM berechnete nationale Emissionen von Spurengasen aus der Landwirtschaft, Stand Februar 2001

SNAP	NH <sub>3</sub> -Emissionen In Gg a <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub>		N <sub>2</sub> O-Emissionen In Gg a <sup>-1</sup> N <sub>2</sub> O <sup>1)</sup>		CH <sub>4</sub> -Emissionen In Tg a <sup>-1</sup> CH <sub>4</sub>	
	1994	1996	1994	1996	1994	1996
100100	80,1	90,1	79,3	83,6		
100200	0,5	0,5	0,0	0,0		
100400					1,32	1,30
100500	490,0	485,4	47,1	46,6		
<b>Summe</b>	<b>570,6</b>	<b>576</b>	<b>126,4</b>	<b>130,2</b>	<b>1,32</b>	<b>1,30</b>

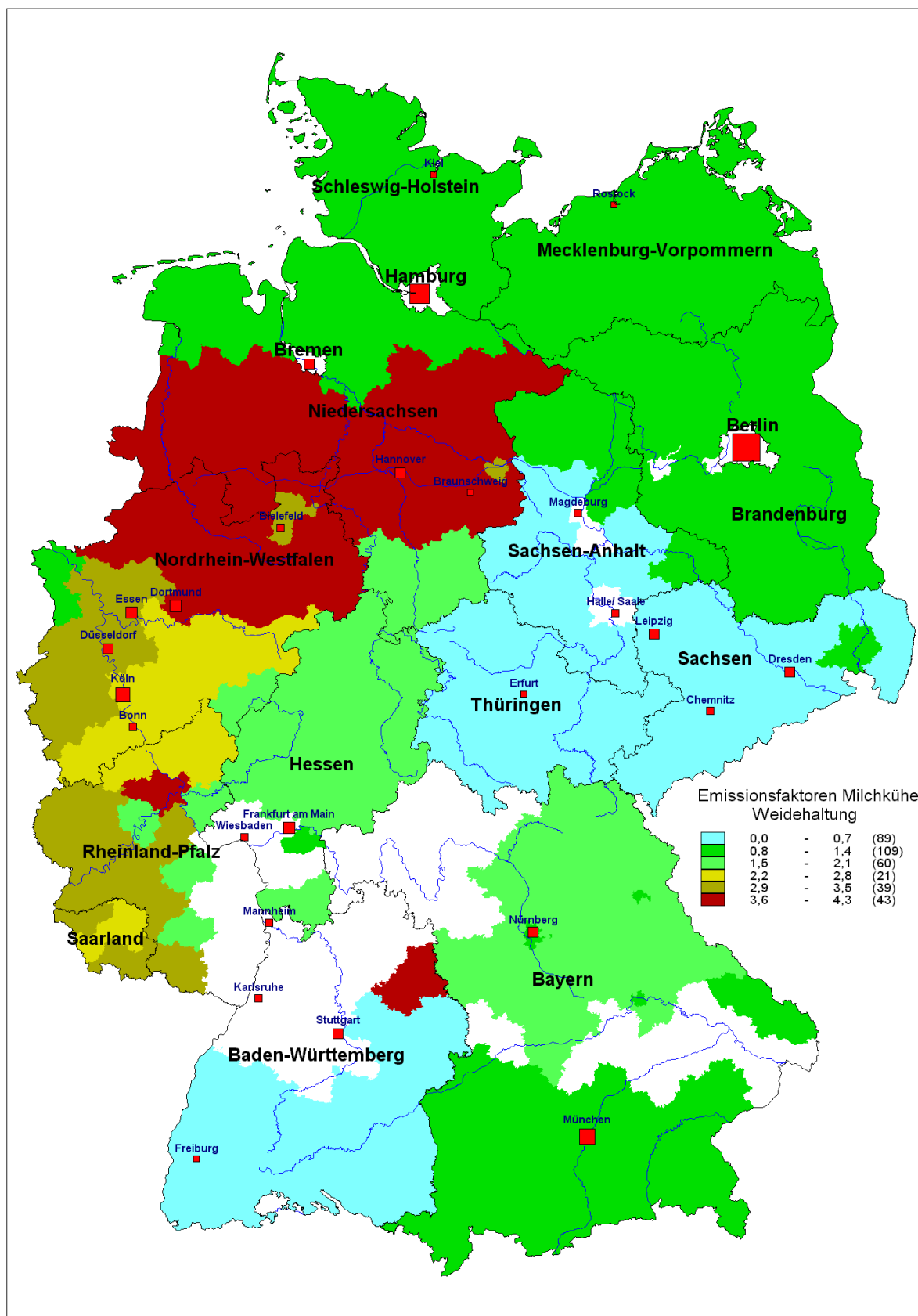
<sup>1)</sup> Summen unvollständig

Die in Tabelle 4.2 aufgeführten Emissionen (Stand Februar 2001) sind vorläufig, da die Rechenverfahren von GAS-EM und RAUMIS zwar weitgehend gleiche, aber im Detail noch nicht übereinstimmenden Werte liefern. Die Qualität der Häufigkeitsverteilungen von Aktivitäten, wie sie in RAUMIS für GAS-EM berechnet wurde, ist noch nicht bekannt. Programmfehler sind trotz großer Sorgfalt noch nicht ausgeschlossen. Die N<sub>2</sub>O-Emissionen sind noch unvollständig erfasst. Die Emissionen aus den Stadtstaaten Berlin, Bremen und Hamburg sind noch nicht quantifiziert.

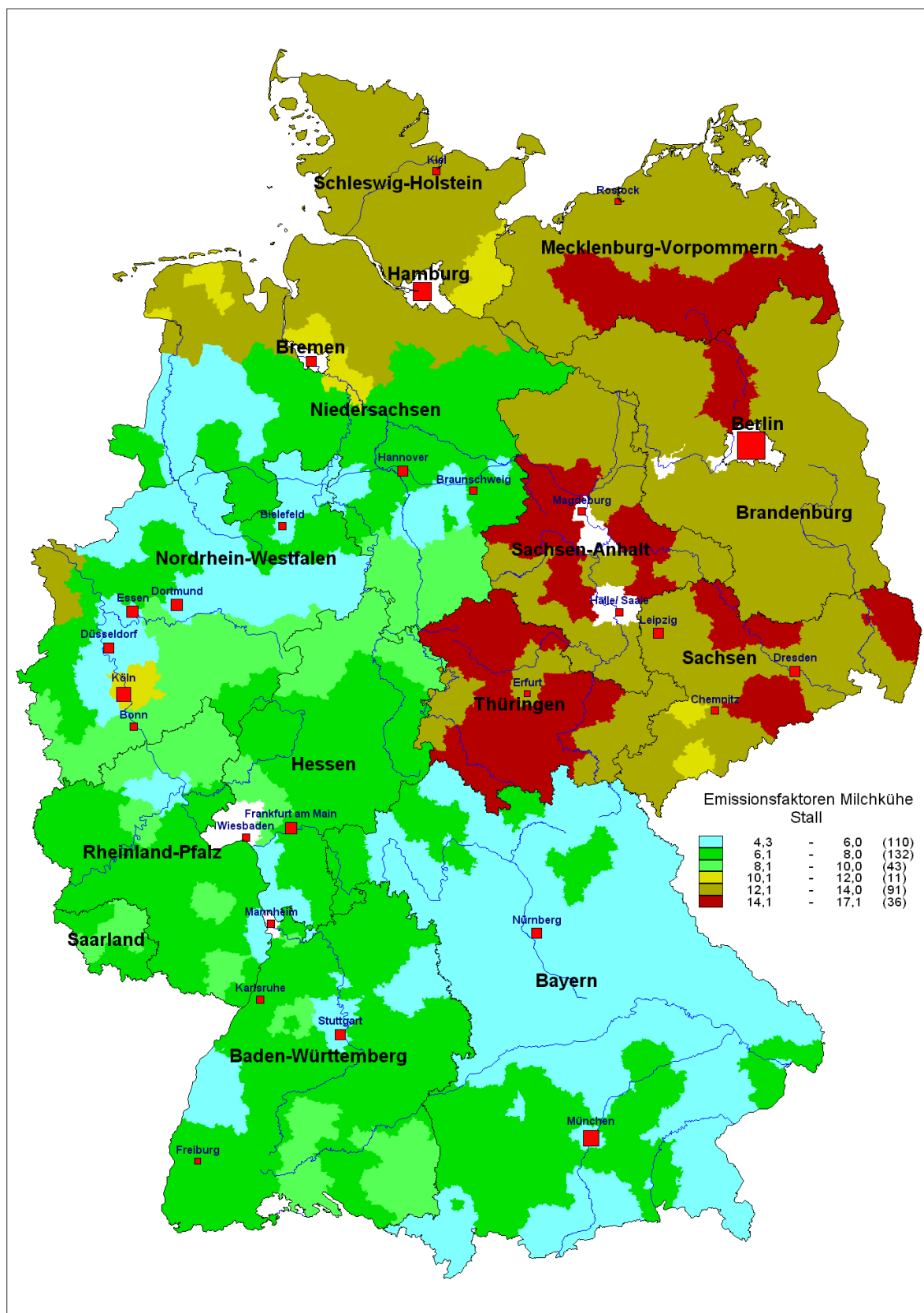




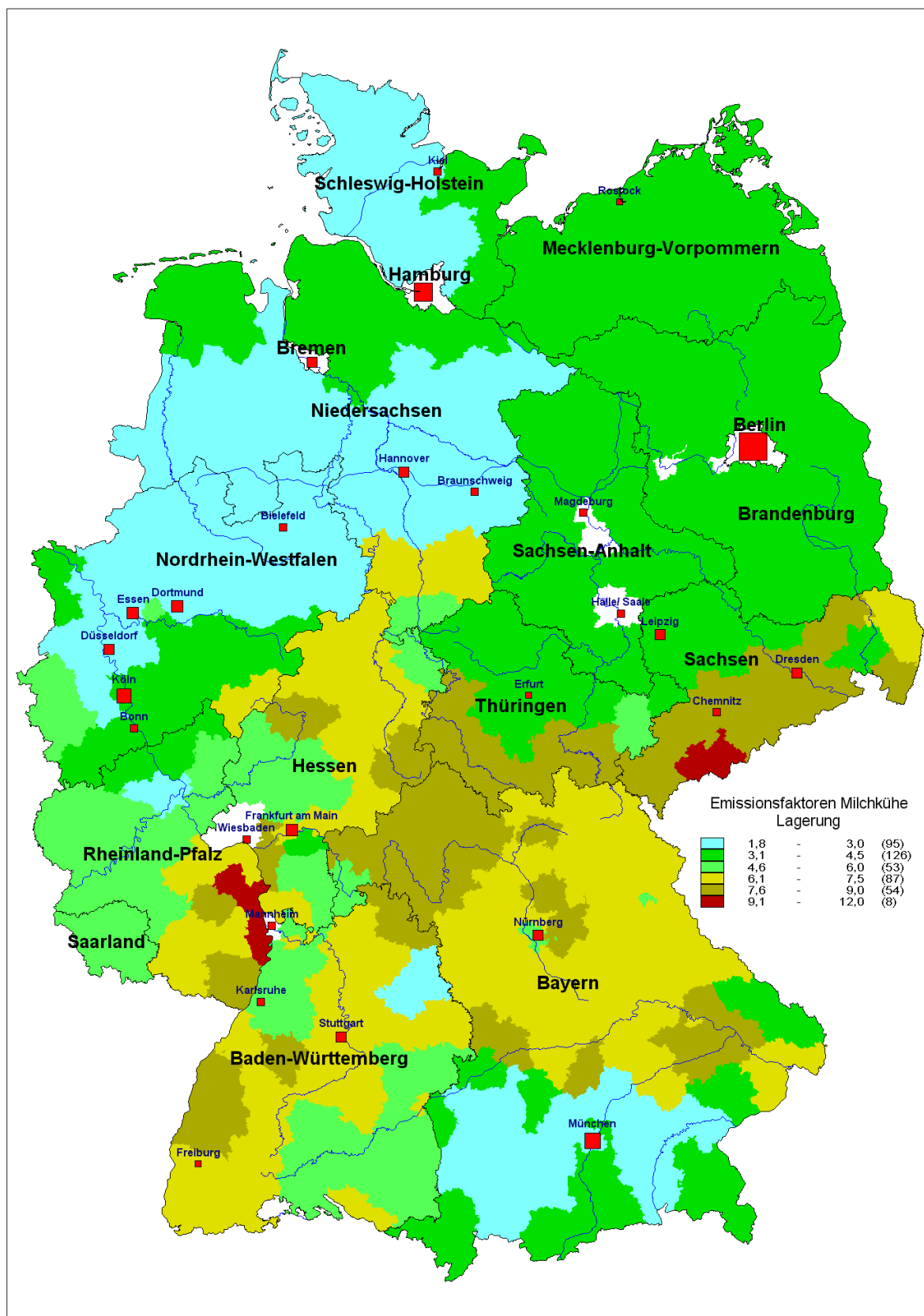
Karte 4.1: N-Ausscheidungen von Milchkühen. Angaben in  $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{N}$ . Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit dem detaillierten Verfahren unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc unter Berücksichtigung von Fütterung, Milchleistung, Weidegang, Stallhaltung und Wirtschaftsdüngermanagement. (Stand Februar 2001)



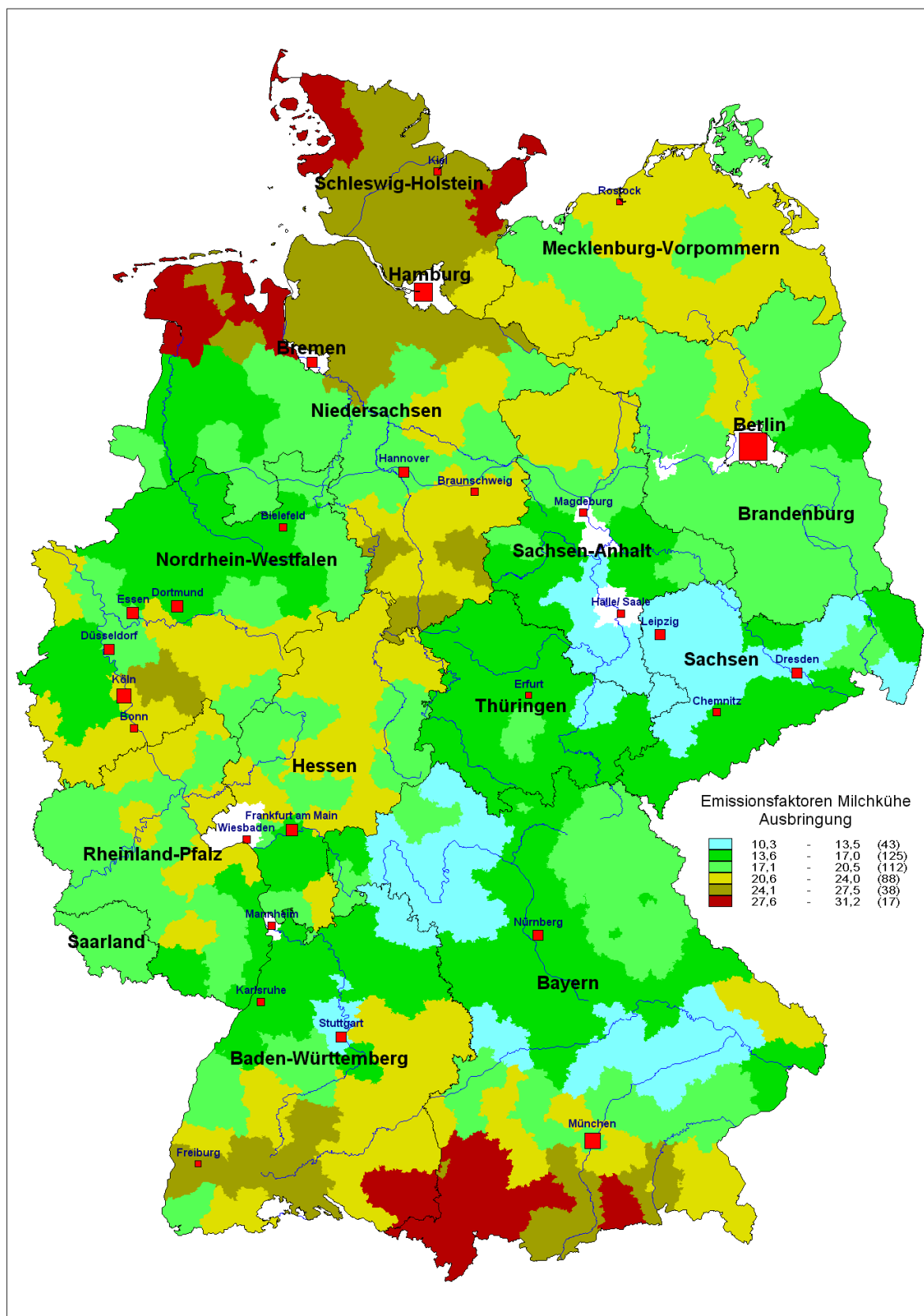
Karte 4.2: Emissionsfaktoren für Milchkühe – partieller Emissionsfaktor „Weidegang“. Angaben in  $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ . Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit dem detaillierten Verfahren unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc unter Berücksichtigung der Dauer des täglichen Weidegangs und der Weideperiode. (Stand Februar 2001)



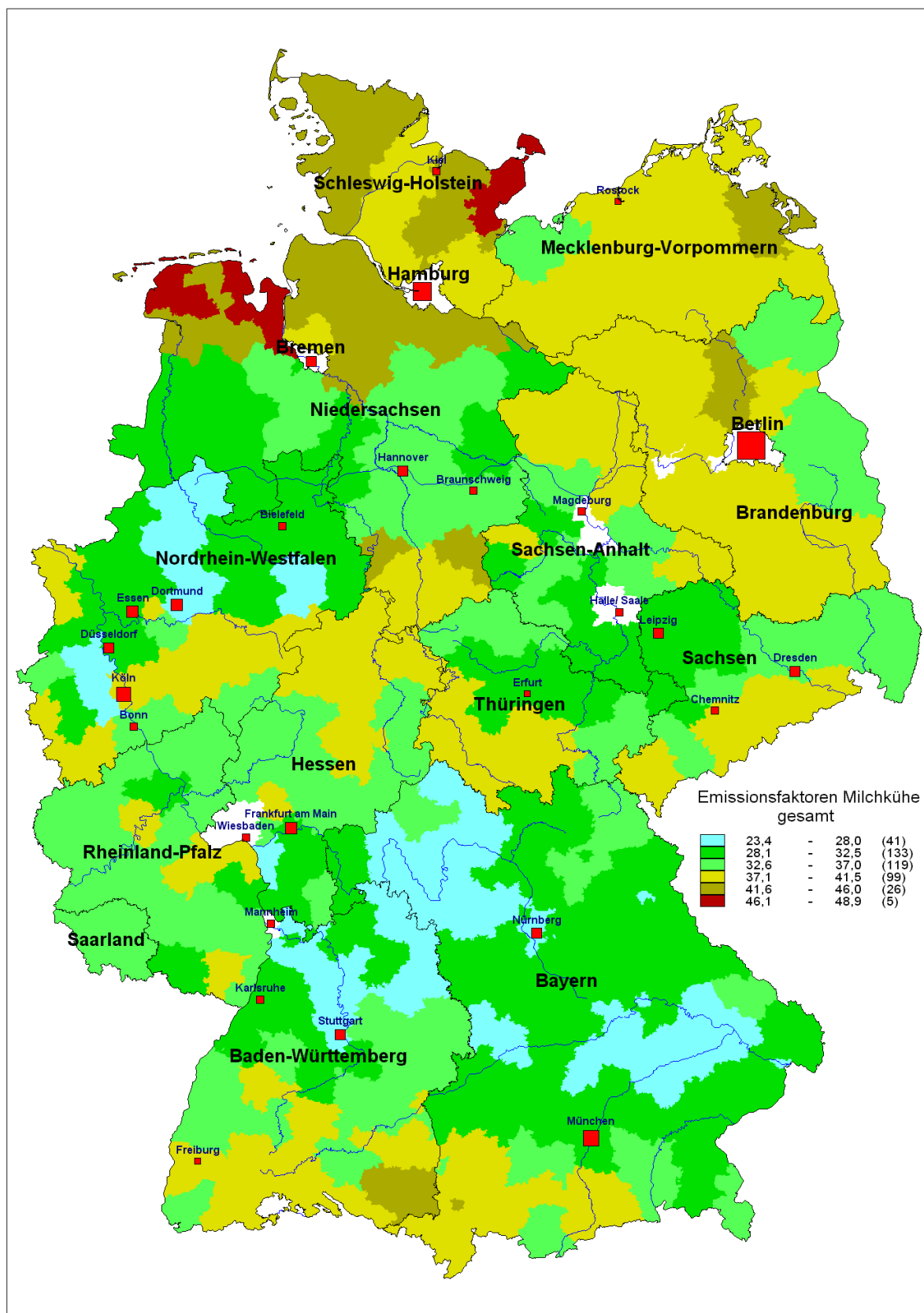
Karte 4.3: Emissionsfaktoren für Milchkühe – partieller Emissionsfaktor „Stall“. Angaben in  $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ . Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit dem detaillierten Verfahren unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc unter Berücksichtigung von Aufstallungsverfahren und Dauer des Aufenthalts im Stall. (Stand Februar 2001)



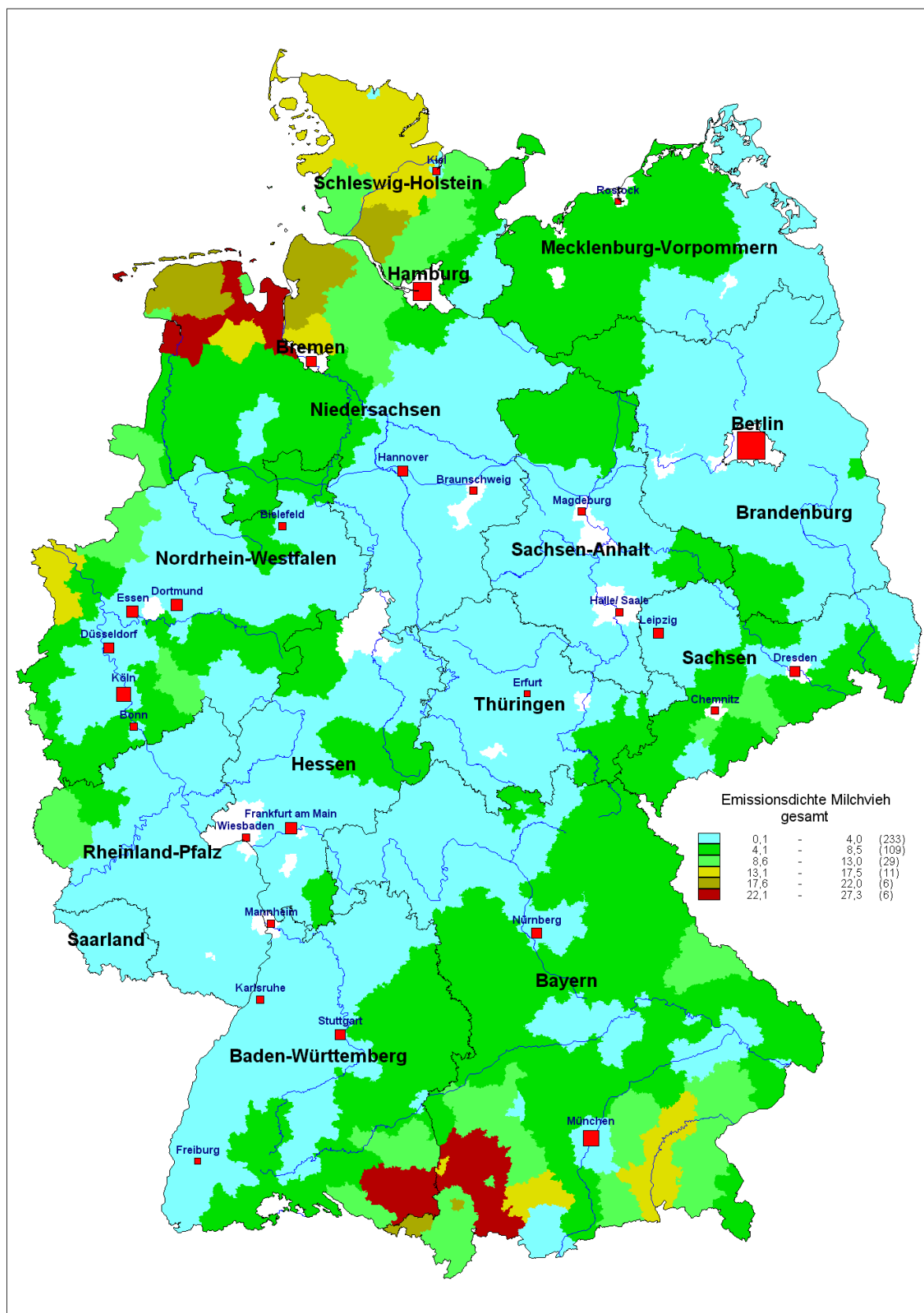
Karte 4.4: Emissionsfaktoren für Milchkühe – partieller Emissionsfaktor „Lagerung“. Angaben in  $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ . Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit dem detaillierten Verfahren unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc unter Berücksichtigung aller bekannten Lagerungsverfahren für Gülle- und Festmist. (Stand Februar 2001)



Karte 4.5: Emissionsfaktoren für Milchkühe – partieller Emissionsfaktor „Ausbringung“. Angaben in  $\text{kg Platz}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ . Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit dem detaillierten Verfahren unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc unter Berücksichtigung sämtlicher Ausbringungsverfahren und Einarbeitungszeiten (Stand Februar 2001)

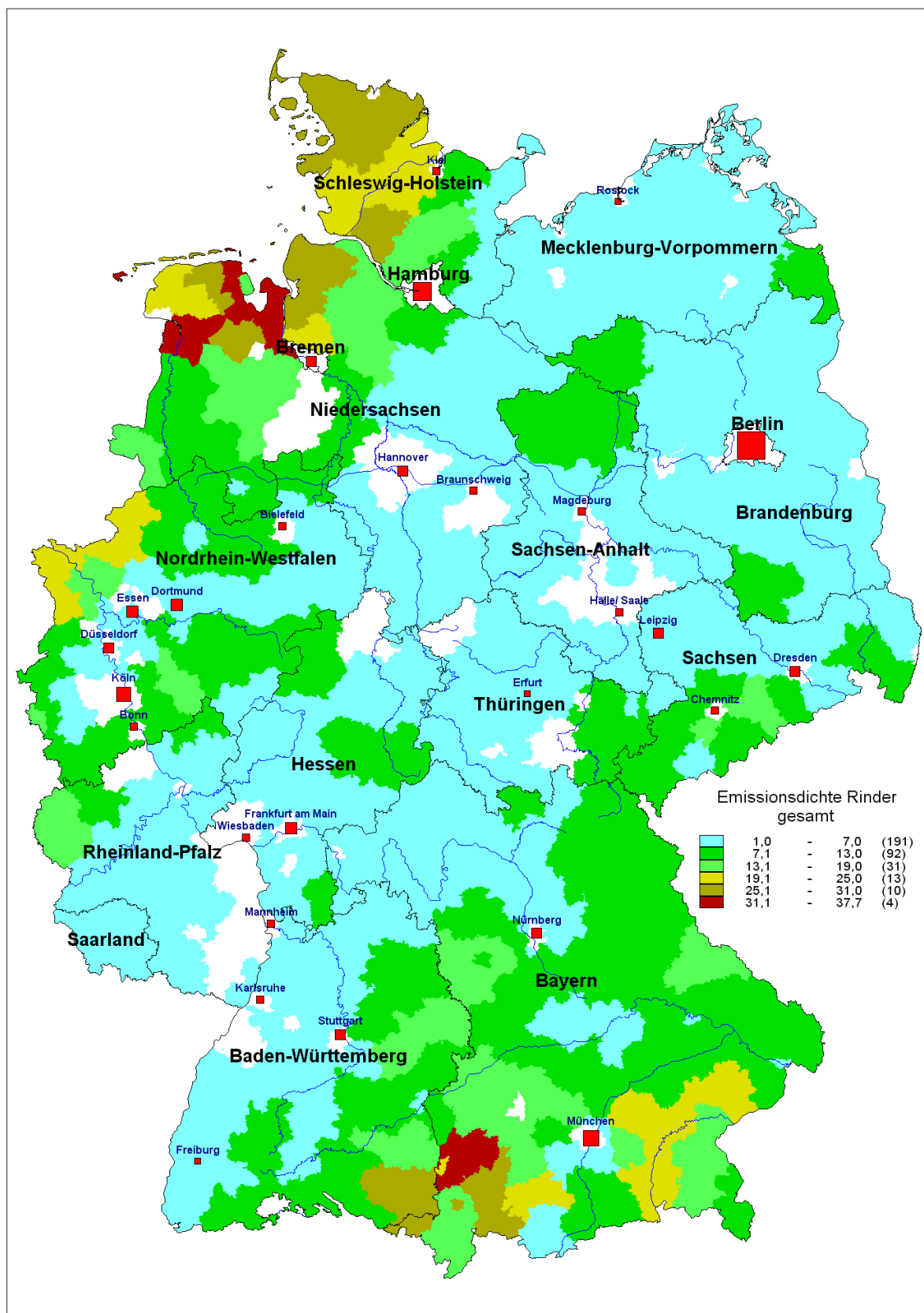


Karte 4.6: Gesamt-NH<sub>3</sub>-Emissionsfaktoren für Milchkühe. Angaben in kg Platz<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub>. Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet als Summe der partiellen Emissionsfaktoren „Weidegang“, „Stall“, „Lagerung“ und „Ausbringung“ unter Verwendung des GAS-EM-Rechenblattes 1050adc (Stand Februar 2001)



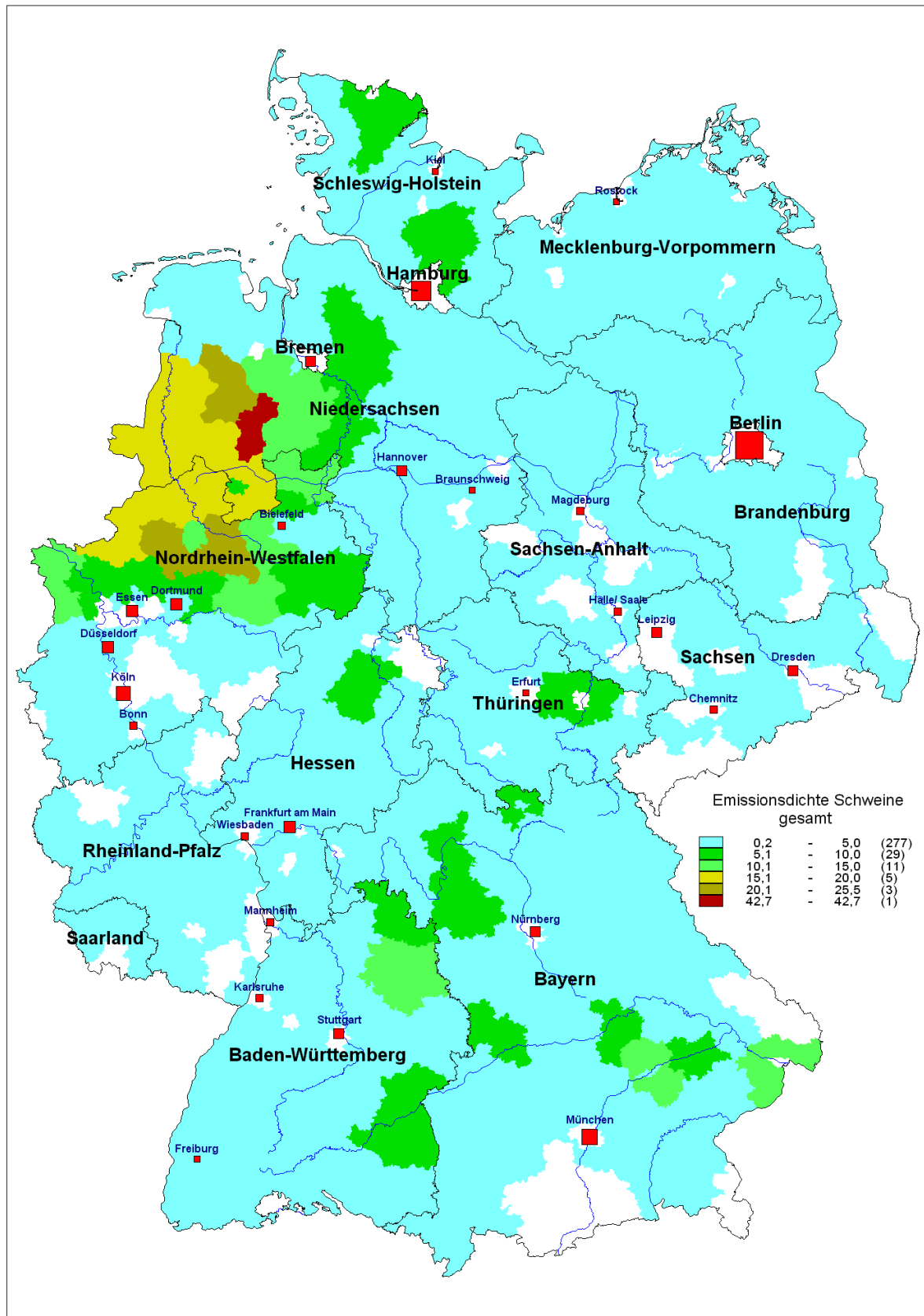
Karte 4.7:  $\text{NH}_3$ -Emissionsdichten für Milchkuh-Haltung. Angaben in  $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ , bezogen auf Kreisflächen. Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit GAS-EM wie für Karte 4.6



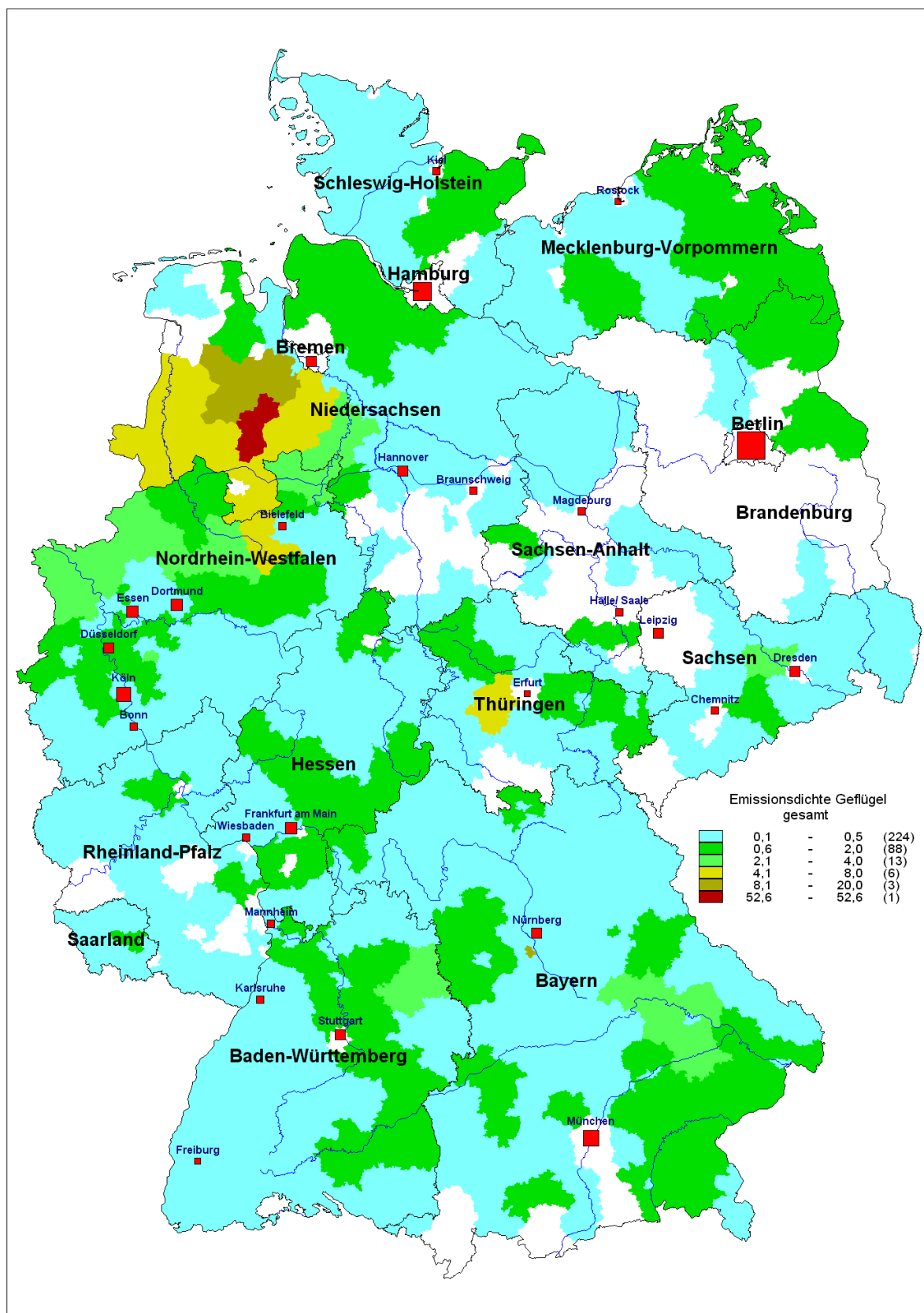


Karte 4.8: NH<sub>3</sub>-Emissionsdichten für die Rinder-Haltung insgesamt. Angaben in kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub>, bezogen auf Kreisflächen. Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit GAS-EM für Milchkühe, Kälber, weibliche und männliche Mastrinder und Mutterkühe

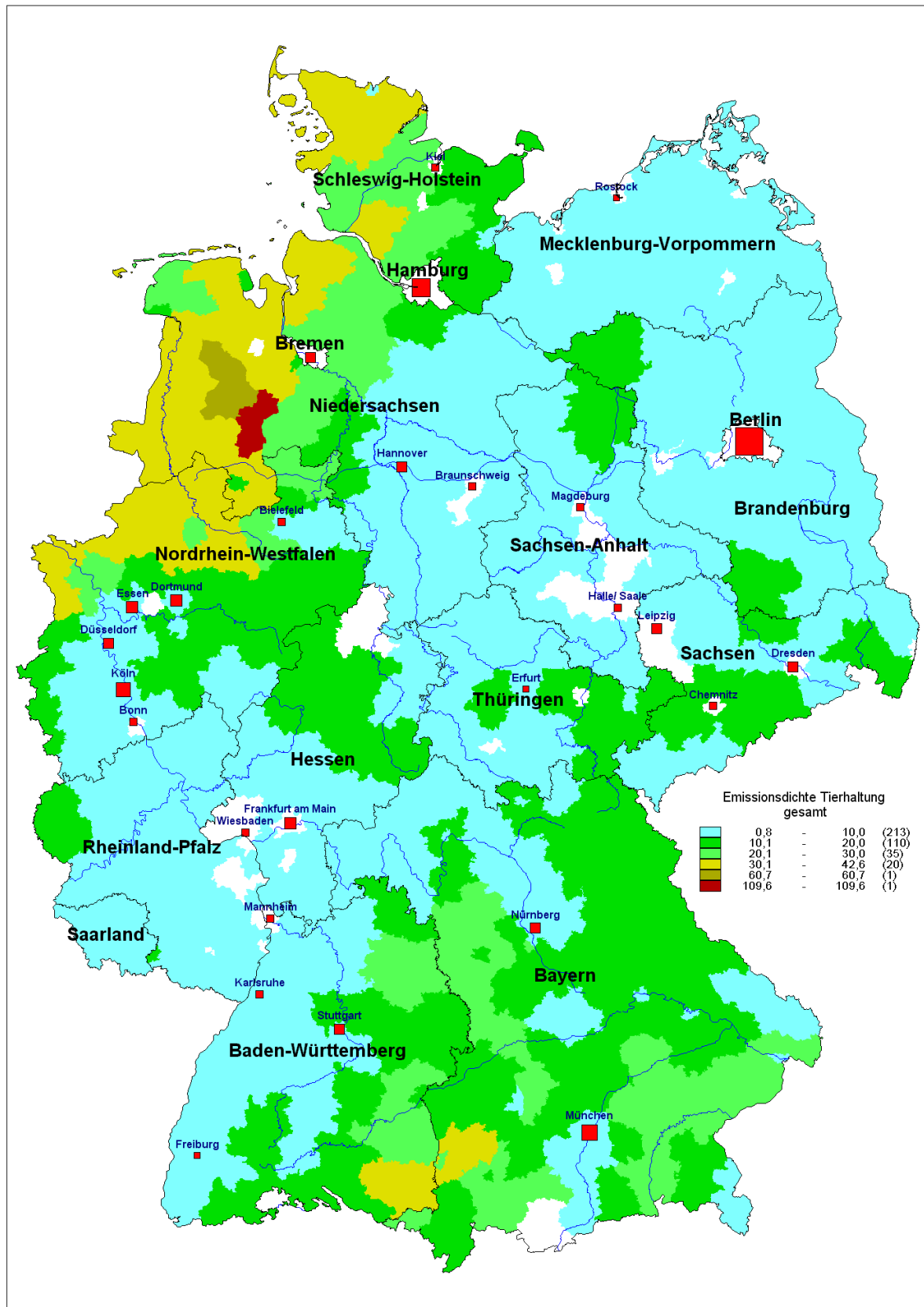




Karte 4.9:  $\text{NH}_3$ -Emissionsdichten für die Schweine-Haltung insgesamt. Angaben in  $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$ , bezogen auf Kreisflächen. Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit GAS-EM für Mastschweine und Sauen



Karte 4.10:  $\text{NH}_3$ -Emissionsdichten für Geflügel-Haltung insgesamt. Angaben in  $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$   $\text{NH}_3$ , bezogen auf Kreisflächen. Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit GAS-EM für Hühner (Legehennen, Junghennen, Masthähnchen und Masthühnchen), Gänse, Enten und Puten



Karte 4.11:  $\text{NH}_3$ -Emissionsdichten für die Tier-Haltung insgesamt. Angaben in  $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$   $\text{NH}_3$ , bezogen auf Kreisflächen. Räumliche Verteilung für das Jahr 1996, berechnet mit GAS-EM für Rinder, Schweine, Schafe, Pferde und Geflügel

## 4.2 Ergebnisse der Emissionsberechnungen mit dem Modell RAUMIS

### 4.2.1 Ergebnisse der Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung für die Jahre 1990, 1995 und 1999

Mit dem Agrarsektormodell RAUMIS wurden Emissions-Berechnungen für die Jahre 1990, 1995 und 1999 durchgeführt, wobei auf die regionalen Daten der RAUMIS-„Basisjahre“ 1991 und 1995 aufgebaut wurde. Um die Umfänge der Tierbestände nach den Angaben des Statistischen Bundesamtes für die Jahre 1990, 1995 und 1999 exakt einzuhalten, wurden die Tierzahlen, für 1999 auch die Daten zur Flächennutzung auf Länderebene mit den statistischen Angaben verglichen und ggf. über Multiplikation mit Korrekturfaktoren angepasst. Stadtstaaten wurden dabei ausgeklammert. Tabelle 4.3 gibt einen Überblick über die dabei verwendeten Daten:

Tab. 4.3: Datengrundlagen für die Berechnung der Ex-post-Situation

Jahr	Viehzählung	Korrektur	Modellregionsdaten	Bestandsgrößenklassen
1990	1992, Neue Länder: 1989	Länderdaten 1990, Milchleistung von `91	1990	1992
1995	1994	Länderdaten 1995, Geflügel, Pferde von `94	2000	1994
1996 (nur zu Vergleichszwecken)	1996	keine Korrektur	2000	1994
1999	1999	Länderdaten 1999*)	2000	1996, fortgeschrieben auf `99

\*) für Hessen, Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen wurden die Rinderbestände entsprechend der Daten von 1998 differenziert, da nur Summen für Rinder und Milchkühe vorlagen. Für diese Länder und Rheinland-Pfalz wurden fehlende Werte aus vorläufigen Daten der Tierzählung 1999 ergänzt.

Quelle: RAUMIS, eigene Zusammenstellung

Für einen Vergleich mit den Ergebnissen des Tabellenkalkulationsprogramms GAS\_EM, für das Ergebnisse für das Jahr 1996 vorliegen, wurde in RAUMIS eine weitere Berechnung auf Basis der Viehzählungsdaten von 1996 durchgeführt. Für die Abschätzung der Tierhaltungsstrukturen in Abhängigkeit von den Bestandsgrößenklassen standen Sonderauswertungen zu Tierbestandsgrößenklassen aus dem BMVEL zur Verfügung, allerdings nur für die Jahre 1992, 1994 und 1996. Für die Fortschreibung der Bestandsgrößenklassen von 1996 auf 1999 wurden die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Ökonomie verwendet, die in Kapitel 6 erläutert werden.

Die technischen Annahmen für das Jahr 2000 wurden auf die Jahre 1995 und 1996 übertragen, die Abbildungsgüte für diese Jahre ist daher möglicherweise verringert. Wie Tabelle 4.4 verdeutlicht, kommt in den hochgerechneten Daten aus der Modellregionsbefragung ein starker technologischer Wandel zum Ausdruck, z. B. hin zu Laufställen und Güllesystemen in der Milchviehhaltung bei Abnahme des Weidegangs. Dabei wird durch das Hochrechnungsverfahren bei Milchkühen, Bullen, Mastschweinen und Sauen ein deutlicher Unterschied bei den Stallhaltungsverfahren zwischen 1995 und 1999 erzielt. Hierdurch entsteht ein kontinuierlicher Übergang zwischen 1990 und 1999 (2000). Die Verfahren Färsen und Mutterkühe wurden nicht nach Größenklassen differenziert hochgerechnet.

Tab. 4.4: Entwicklung der Stallhaltungs- und Weideverfahren (Durchschnitt für Deutschland, gewichtet nach Stallplätzen) in Prozentanteilen

				1990	1995	1999	2010
<b>Milchkühe</b>	Stall	Anbindehaltung Festmist	%	31	16	13	5
		Anbindehaltung Gülle	%	37	38	33	17
		Boxenlaufstall Festmist	%	2	3	3	3
		Boxenlaufstall Gülle	%	29	42	51	74
		Tiefstreu oder Tretmist	%	0	0	0	0
	Weide	Ganzjährig im Stall	%	42	60	62	76
		Halbtägig auf Weide	%	24	10	8	2
		Ganztägig auf Weide	%	34	30	29	22
		Anzahl Weidetage	%	151	140	139	120
	Fütterung	Anteil Gras-TM an Grundfutter-TM%		76	77	77	77
<b>Bullen</b>	Stall	Anbindehaltung Festmist	%	4	3	2	1
		Anbindehaltung Gülle	%	7	4	3	0
		Laufstall Vollspalten	%	83	88	91	94
		Laufstall Tretmist	%	6	4	3	3
		Laufstall Tiefstreu	%	0	0	0	1
<b>Mutterkühe</b>	Stall	Mütterkühe Laufstall Gülle	%	7	6	5	5
		Mütterkühe Laufstall Mist	%	86	86	86	86
		Mütterkühe Anbindehaltung Gülle	%	2	2	2	2
		Mütterkühe Anbindehaltung Mist	%	6	6	7	7
	Weide	Ø Anzahl Weidetage/Jahr		203	207	207	207
<b>Färsen</b>	Stall	Anbindehaltung Gülle	%	15	17	17	17
		Anbindehaltung Mist	%	8	8	8	8
		Laufstall Vollspalten	%	48	49	50	49
		Laufstall Tiefstreu	%	28	25	25	26
	Weide	Ø Weidetage/Jahr		172	171	171	171
<b>Mast-schweine</b>	Stall	Wärme gedämmt: Gülle, Vollspalten	%	49	59	60	81
		Wärme gedämmt: Teilspalten (40/60)	%	40	34	32	14
		Wärme gedämmt: Einstreu a) Tiefstreu	%	3	2	2	1
		Wärme gedämmt: Einstreu b) 2-Flächen	%	8	5	5	3
		Außenklima: Kistenstall, Tiefstreu	%	0	0	0	0
	Fütterung	Mehrphasenfütterung	%	41	71	71	87
<b>Sauen</b>	Stall	Festmist	%	42	26	24	17
		Gülle	%	58	74	76	83
<b>Legehennen</b>	Stall	Käfighaltung: Kotgrube	%	45	23	22	4
		Käfighaltung: Kotband mit Belüftung	%	16	31	31	44
		Käfighaltung: Kotband ohne Bel.	%	21	28	28	32
		Boden+Freiland	%	18	18	19	19

Quelle: RAUMIS, Daten aus der Modellregionsbefragung

Die Tabelle 4.5 zeigt für die Methoden des Wirtschaftsdüngermanagements ebenfalls einen starken Wandel der Verfahren, z. B. hin zu längerer Lagerdauer, zur vermehrten Abdeckung der Güllelager und zu verbesserter, emissionsmindernder Ausbringungstechnik. Die Hochrechnung erfolgt dabei aber unabhängig von Größenklassen, sie hängt nur von der Expertenschätzung in der jeweiligen Modellregion ab. Die Ausbringung nach Jahreszeiten und Flächen wurde in

RAUMIS geschätzt (vgl. Kapitel 2.6.2.2), dargestellt sind sowohl die hochgerechneten Expertenschätzungen als auch die RAUMIS-Werte. Zu bedenken ist, dass die Expertenschätzungen selbst fehlerbehaftet sein können und zudem ohne Berücksichtigung der jeweiligen Flächennutzung auf andere Regionen übertragen wurden. Da die Ausbringung aber sehr abhängig von den zur Verfügung stehenden Flächen ist, wurden die Expertenschätzungen in diesem Punkt nicht für die Modellierung, sondern nur zu Vergleichszwecken verwendet (daher in der Tabelle kursiv, zu den Vergleichen siehe Kapitel 2.6.2.2).

Tab. 4.5: Entwicklung der Güllelagerungs- und Ausbringungsverfahren (Durchschnitt für Deutschland, gewichtet nach Wirtschaftsdüngeraufkommen) in Prozentanteilen

		Rindergülle				Schweinegülle			
		1990	1995	1999	2010	1990	1995	1999	2010
<b>Lagerung</b>									
Dauer	Lagerdauer Gülle in Monaten	4	5	5	7	5	7	7	8
Technik	Gülle im Stall unter Spaltenboden %	39	35	35	29	32	30	31	24
	Gülle im separaten Güllekeller %	4	5	5	7	13	16	16	17
	Außenlager ohne Abdeckung %	1	1	1	0	47	27	27	21
	Außenlager natürl. Schwimmd. %	38	41	42	46	3	13	13	12
	Außenlager künstl. Schwimmd. %	0	0	0	2	0	1	1	2
	Außenlager Folienabdeckung %	0	1	1	1	0	7	7	8
	Außenlager feste Abdeckung %	18	17	17	15	5	6	6	16
<b>Ausbringung</b>									
Technik	Ausbringtechnik Breitverteiler %	98	78	78	64	94	68	68	46
	Bandverteiler/Schleppschlauch %	2	18	18	25	6	27	27	44
	Schleppschuh %	0	1	1	2	0	1	1	2
	Schlitzverfahren %	0	2	2	5	0	2	2	3
	Injektion (Güllegrubber) %	0	1	1	4	0	2	2	6
Zeiten	<i>Ausbringung im Frühjahr: Feb.-Mai %</i>	<i>47</i>	<i>54</i>	<i>54</i>	<i>58</i>	<i>53</i>	<i>62</i>	<i>62</i>	<i>67</i>
	<i>Ausbr. im Sommer: Juni-Sept. %</i>	<i>29</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>25</i>	<i>23</i>	<i>22</i>	<i>22</i>	<i>20</i>
	<i>Ausbr. im Herbst: Okt.-Nov. %</i>	<i>24</i>	<i>21</i>	<i>21</i>	<i>17</i>	<i>24</i>	<i>16</i>	<i>16</i>	<i>13</i>
Zeiten	RAUMIS Ausbr. Feb.-Mai %	60	78	78	86	56	71	71	82
	RAUMIS Ausbr. im Juni-Sept. %	25	19	19	13	33	29	29	18
	RAUMIS Ausbr. im Okt.-Nov. %	15	2	2	1	11	0	0	0
Management	<i>auf unbedeckten Boden ausgebr. %</i>	<i>39</i>	<i>33</i>	<i>33</i>	<i>28</i>	<i>62</i>	<i>42</i>	<i>42</i>	<i>37</i>
	RAUMIS auf unbedeckten Boden %	56	54	55	44	68	69	69	55
	Davon nicht eingearbeitet? %	21	7	7	2	10	9	9	6
	Davon sofort (bis ca. 1 Stunde) eingearbeitet? %	7	12	12	20	6	21	21	45
	Einarbeitung restl. Gülle nach ... h	36	17	17	13	31	18	17	17

*Kursiv: Modellregionsdaten, nicht in Berechnungen verwendet (vgl. Kapitel 2.6.2.2)*

RAUMIS: Schätzung der entsprechenden Merkmale im Modell

Quelle: RAUMIS, Daten aus der Modellregionsbefragung

Da bei der Befragung Unklarheiten über die Definition der Fütterungsverfahren auftraten, sind die Expertenschätzungen zur Mehrphasenfütterung in der Schweinehaltung als unsicher und möglicherweise zu optimistisch einzustufen. Diese Unsicherheiten wurden in der Projektgemeinschaft diskutiert, eine neue Erhebung war aber nicht möglich. Andererseits sollten unsichere Werte nicht durch willkürlichen Schätzungen seitens der Projektbearbeiter ersetzt werden, weshalb die unsicheren Werte übernommen wurden. Möglicherweise führen die Annahmen zur Schweinefütterung daher zu einer Unterschätzung der Emissionen aus der Mastschweinehaltung.

Die berechneten Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung sind in den folgenden Abbildungen und Tabellen dargestellt. Für die Ausbringung wurde nicht mit einheitlichen E-Faktoren gerechnet, sondern mit variablen Faktoren in Abhängigkeit von der Temperatur in der Ausbringungszeit. Die Entwicklung der Emissionen hängt von der Veränderung der Tierzahlen und vom technischen Wandel in der Haltung und im Wirtschaftsdüngermanagement ab. Wie Abbildung 4.1 deutlich zeigt, sanken die Emissionen von 1990 von über 600.000 t Ammoniak aus der Tierhaltung um 23 % auf unter 470.000 t im Jahr 1995. Dies ist vor allem auf den starken Tierbestandsabbau in den neuen Ländern zurückzuführen. Zwischen 1995 und 1999 ändern sich die Emissionen nicht mehr so stark, da die Tierzahlen in diesem Zeitraum stabiler blieben. Zwischen 1995 und 1999 wurde ein leichter Rückgang der Emissionen aus der Rinderhaltung durch Zunahmen in der Schweine- und Geflügelhaltung nahezu kompensiert. Zu bedenken ist, dass zur Berechnung der Gesamtemissionen den Emissionen aus der Tierhaltung noch weitere Ammoniak-Emissionen aus der Mineraldüngerverwendung und aus der Industrie gezählt werden müssen, die sich in der Größenordnung von mehr als 100.000 t im Jahr bewegen. Dies ist eher eine optimistische Schätzung, die Emissionen können auch 140 000 t im Jahr betragen.

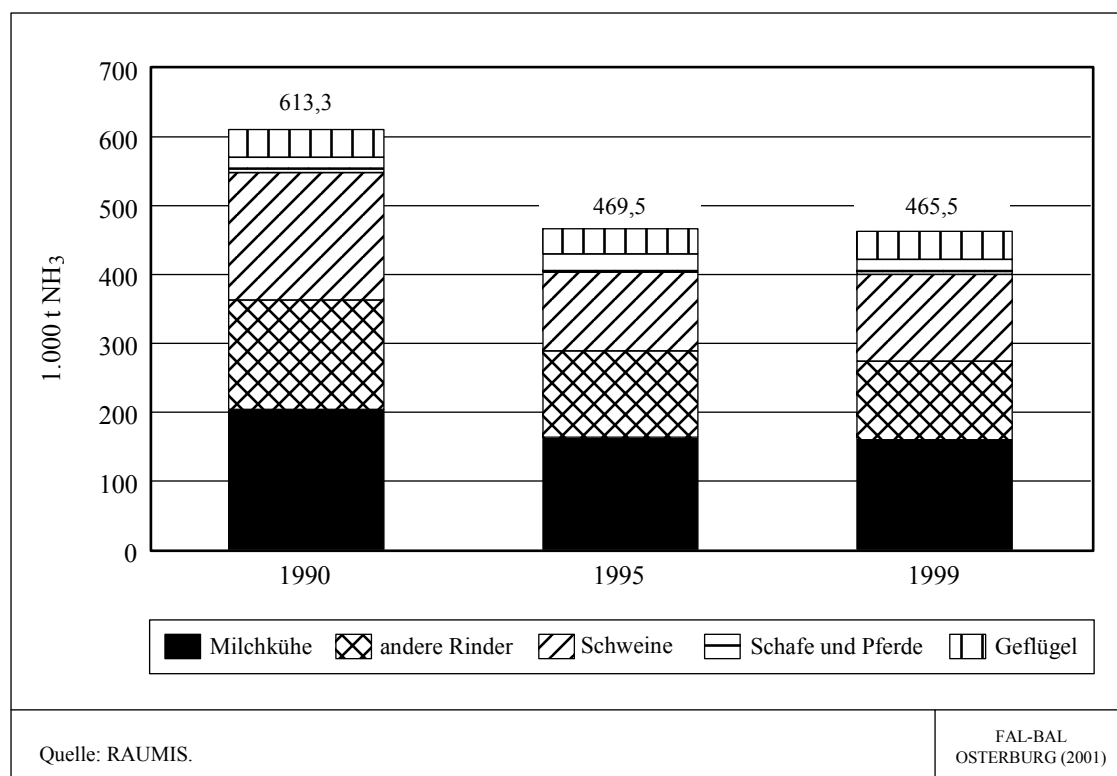


Abb. 4.1: Entwicklung der Höhe der  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der Tierhaltung in Deutschland (in 1000 t  $\text{NH}_3$ , berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung)

Tab. 4.6: Verteilung der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung in Deutschland 1990  
(in 1000 t NH<sub>3</sub>, berechnet mit variablen Ausbringungstemperaturen)

<b>Jahr: 1990</b>	<b>Emis- sionen ges.</b>	<b>Stall</b>	<b>Weide</b>	<b>Lage- rung</b>	<b>Aus- bring- ung</b>	<b>Emis- sionen ges.</b>	<b>Stall</b>	<b>Weide</b>	<b>Lage- rung</b>	<b>Aus- bring- ung</b>
	----- in 1000 t NH <sub>3</sub> -----					----- in % von Gesamt -----				
Milchkühe	<b>205</b>	42	11	39	114	<b>33,4</b>	6,8	1,8	6,3	18,6
Kälber	<b>32</b>	4	0	15	12	<b>5,1</b>	0,7	0,0	2,5	2,0
Mastbullen	<b>58</b>	12	0	7	39	<b>9,5</b>	2,0	0,0	1,2	6,3
Färsen	<b>63</b>	9	11	13	30	<b>10,3</b>	1,5	1,9	2,0	4,8
Mutterkühe	<b>6</b>	1	1	2	2	<b>0,9</b>	0,1	0,2	0,3	0,3
Schlacht- und Mastkühe	<b>4</b>	1	1	1	2	<b>0,6</b>	0,1	0,1	0,1	0,3
Rinderhaltung ohne Milchkühe (other cattle)	<b>162</b>	27	13	37	84	<b>26,4</b>	4,4	2,1	6,1	13,7
<b>Rinder gesamt</b>	<b>367</b>	<b>68</b>	<b>24</b>	<b>76</b>	<b>198</b>	<b>59,8</b>	<b>11,2</b>	<b>3,9</b>	<b>12,4</b>	<b>32,3</b>
Mastschweine	<b>117</b>	69	0	26	22	<b>19,1</b>	11,2	0,0	4,3	3,6
Sauen	<b>65</b>	24	0	24	17	<b>10,5</b>	3,9	0,0	3,9	2,8
<b>Schweine gesamt</b>	<b>182</b>	<b>92</b>	<b>0</b>	<b>50</b>	<b>39</b>	<b>29,7</b>	<b>15,1</b>	<b>0,0</b>	<b>8,2</b>	<b>6,4</b>
Schafe	<b>9</b>	2	2	3	2	<b>1,5</b>	0,3	0,3	0,5	0,4
Pferde	<b>16</b>	4	0	6	6	<b>2,7</b>	0,7	0,0	1,0	1,0
Legehennen	<b>23</b>	12	0	1	10	<b>3,8</b>	2,0	0,0	0,2	1,6
Masthähnchen	<b>7</b>	5	0	0	2	<b>1,1</b>	0,7	0,0	0,0	0,3
Junghennen	<b>3</b>	2	0	0	1	<b>0,5</b>	0,3	0,0	0,0	0,2
Sonstiges Geflügel	<b>6</b>	4	0	0	2	<b>1,0</b>	0,7	0,0	0,0	0,3
<b>Geflügel gesamt</b>	<b>40</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>6,4</b>	<b>3,8</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>2,4</b>
<b>Tierhaltung gesamt</b>	<b>613</b>	<b>191</b>	<b>26</b>	<b>137</b>	<b>260</b>	<b>100,0</b>	<b>31,1</b>	<b>4,2</b>	<b>22,3</b>	<b>42,4</b>
Simpler Methodology	<b>681</b>	311		87	284					
Abweichung in % von RAUMIS	<b>11</b>	44		-36	9					

Quelle: RAUMIS, Stand Februar 2001



Tab. 4.7: Verteilung der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung in Deutschland 1995  
(in 1000 t NH<sub>3</sub>, berechnet mit variablen Ausbringungstemperaturen)

<b>Jahr: 1995</b>	<b>Emis- sionen ges.</b>	<b>Stall</b>	<b>Weide</b>	<b>Lage- rung</b>	<b>Aus- bring- ung</b>	<b>Emis- sionen ges.</b>	<b>Stall</b>	<b>Weide</b>	<b>Lage- rung</b>	<b>Aus- bring- ung</b>
	----- in 1000 t NH <sub>3</sub> -----					----- in % von Gesamt -----				
Milchkühe	<b>166</b>	46	7	25	88	<b>35,4</b>	9,7	1,6	5,3	18,8
Kälber	<b>25</b>	3	0	12	9	<b>5,3</b>	0,7	0,0	2,6	2,0
Mastbullen	<b>33</b>	8	0	4	21	<b>7,1</b>	1,8	0,0	0,9	4,4
Färsen	<b>48</b>	8	9	10	21	<b>10,3</b>	1,7	2,0	2,1	4,5
Mutterkühe	<b>14</b>	2	3	5	4	<b>3,1</b>	0,4	0,6	1,1	0,9
Schlacht- und Mastkühe	<b>2</b>	0	0	0	1	<b>0,4</b>	0,1	0,1	0,1	0,2
Rinderhaltung ohne Milchkühe (other cattle)	<b>123</b>	22	13	32	56	<b>26,2</b>	4,7	2,7	6,9	11,9
<b>Rinder gesamt</b>	<b>289</b>	<b>67</b>	<b>20</b>	<b>57</b>	<b>144</b>	<b>61,6</b>	<b>14,4</b>	<b>4,3</b>	<b>12,2</b>	<b>30,7</b>
Mastschweine	<b>74</b>	48	0	15	11	<b>15,7</b>	10,2	0,0	3,3	2,2
Sauen	<b>42</b>	19	0	15	9	<b>9,0</b>	4,0	0,0	3,1	1,9
<b>Schweine gesamt</b>	<b>116</b>	<b>67</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>24,7</b>	<b>14,2</b>	<b>0,0</b>	<b>6,4</b>	<b>4,1</b>
Schafe	<b>7</b>	2	1	2	2	<b>1,4</b>	0,3	0,2	0,5	0,4
Pferde	<b>19</b>	5	0	7	6	<b>4,1</b>	1,1	0,0	1,6	1,4
Legehennen	<b>18</b>	8	0	1	9	<b>3,7</b>	1,7	0,0	0,2	1,9
Masthähnchen	<b>7</b>	5	0	0	2	<b>1,5</b>	1,0	0,0	0,0	0,4
Junghennen	<b>3</b>	2	0	0	1	<b>0,6</b>	0,4	0,0	0,0	0,2
Sonstiges Geflügel	<b>11</b>	7	0	0	3	<b>2,3</b>	1,6	0,0	0,1	0,7
<b>Geflügel gesamt</b>	<b>39</b>	<b>22</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>8,2</b>	<b>4,7</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>	<b>3,2</b>
<b>Tierhaltung gesamt</b>	<b>470</b>	<b>163</b>	<b>22</b>	<b>98</b>	<b>187</b>	<b>100,0</b>	<b>34,8</b>	<b>4,6</b>	<b>20,9</b>	<b>39,7</b>
Simpler Methodology	<b>556</b>	255		70	231					
Abweichung in % von RAUMIS	<b>18</b>	38		-28	24					

Quelle: RAUMIS, Stand Februar 2001

Tab. 4.8: Verteilung der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung in Deutschland 1999  
(in 1000 t NH<sub>3</sub>, berechnet mit variablen Ausbringungstemperaturen)

<b>Jahr: 1999</b>	<b>Emis- sionen ges.</b>	<b>Stall</b>	<b>Weide</b>	<b>Lage- rung</b>	<b>Aus- bring- ung</b>	<b>Emis- sionen ges.</b>	<b>Stall</b>	<b>Weide</b>	<b>Lage- rung</b>	<b>Aus- bring- ung</b>
	----- in 1000 t NH <sub>3</sub> -----					----- in % von Gesamt -----				
Milchkühe	<b>159</b>	48	7	21	83	<b>34,2</b>	10,3	1,4	4,6	17,9
Kälber	<b>24</b>	3	0	12	9	<b>5,1</b>	0,7	0,0	2,5	1,9
Mastbullen	<b>29</b>	7	0	4	18	<b>6,3</b>	1,6	0,0	0,8	3,9
Färsen	<b>47</b>	8	9	10	20	<b>10,0</b>	1,6	2,0	2,1	4,4
Mutterkühe	<b>17</b>	2	4	6	5	<b>3,7</b>	0,5	0,8	1,3	1,1
Schlacht- und Mastkühe	<b>1</b>	0	0	0	1	<b>0,3</b>	0,0	0,1	0,1	0,1
Rinderhaltung ohne Milchkühe (other cattle)	<b>118</b>	21	13	31	53	<b>25,4</b>	4,5	2,8	6,7	11,4
<b>Rinder gesamt</b>	<b>278</b>	<b>69</b>	<b>20</b>	<b>53</b>	<b>137</b>	<b>59,6</b>	<b>14,8</b>	<b>4,2</b>	<b>11,3</b>	<b>29,3</b>
Mastschweine	<b>80</b>	52	0	17	11	<b>17,2</b>	11,1	0,0	3,6	2,5
Sauen	<b>44</b>	20	0	15	9	<b>9,4</b>	4,3	0,0	3,2	2,0
<b>Schweine gesamt</b>	<b>124</b>	<b>72</b>	<b>0</b>	<b>32</b>	<b>21</b>	<b>26,6</b>	<b>15,4</b>	<b>0,0</b>	<b>6,8</b>	<b>4,4</b>
Schafe	<b>7</b>	2	1	2	2	<b>1,6</b>	0,4	0,3	0,5	0,4
Pferde	<b>15</b>	4	0	6	5	<b>3,3</b>	0,9	0,0	1,3	1,1
Legehennen	<b>16</b>	7	0	1	8	<b>3,5</b>	1,6	0,0	0,2	1,8
Masthähnchen	<b>9</b>	6	0	0	3	<b>1,8</b>	1,2	0,0	0,1	0,5
Junghennen	<b>3</b>	2	0	0	1	<b>0,7</b>	0,5	0,0	0,0	0,2
Sonstiges Geflügel	<b>13</b>	9	0	0	4	<b>2,8</b>	1,9	0,0	0,1	0,8
<b>Geflügel gesamt</b>	<b>41</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>8,9</b>	<b>5,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>	<b>3,3</b>
<b>Tierhaltung gesamt</b>	<b>466</b>	<b>171</b>	<b>21</b>	<b>94</b>	<b>180</b>	<b>100,0</b>	<b>36,7</b>	<b>4,5</b>	<b>20,2</b>	<b>38,6</b>
Simpler Methodology	<b>543</b>	249		69	225					
Abweichung in % von RAUMIS	<b>17</b>	30		-27	26					

Quelle: RAUMIS, Stand Februar 2001

Die Emissionen aus der Rinderhaltung bleiben trotz der Abnahme mit ca. 60 % an den Gesamtemissionen aus der Tierhaltung die bedeutendste Teilsumme. Auf Schweine entfallen 25 bis 30 %, Geflügel bleibt trotz zunehmender Tendenz unter 10 % der Gesamtemissionen. Schaf- und Pferdehaltung sind im Modell nur grob abgebildet, auf sie entfallen nur ca. 5 % der Emissionen.

Eine genauere Aufschlüsselung der Emissionen nach Tiergruppen und den Emissionsbereichen Stall, Weide, Dunglagerung und Ausbringung wird in den Tabellen 4.6, 4.7 und 4.8 für die drei berechneten Jahre gegeben. Die Differenzierung nach technischen Bereichen gibt Hinweise über die Potentiale zur Minderung der Ammoniak-Emissionen. Der mit Abstand bedeutendste Einzelposten ist die Ausbringung von Rinderdung, gefolgt von der Stallhaltung bei Schweinen, der Stallhaltung bei Rindern und der Lagerung von Rinderdung.

Tabelle 4.9 zeigt für die Jahre 1990 und 1999 die Verteilung der Emissionsanteile nach Tiergruppen in Prozent der Gesamtemissionen innerhalb der jeweiligen Tiergruppe. Bei Rindern ist die Ausbringung mit etwa 50 % der Emissionen aus der Rinderhaltung die wichtigste Quelle, gefolgt von Stall und Lagerung. Die abnehmende Bedeutung der Lagerung als Ammoniakquelle ist vor allem auf den Rückgang der Festmistsysteme zurückzuführen. Generell ist bei Festmist mit höheren Emissionen bei Lagerung und Ausbringung zu rechnen. Kompensierend wirkt in der Rinderhaltung, dass Haltungssysteme mit Festmist meist mit verstärktem Weidegang einhergehen. Dies gilt sowohl für Weideverfahren wie Färsen- und Mutterkuhhaltung wie auch für traditionelle Formen der Milchviehhaltung. Die Emissionen auf der Weide sind deutlich geringer als bei Stallhaltung, bei der zu den Stallemissionen noch Folge-Emissionen bei Lagerung und Ausbringung anzurechnen sind. Die Zunahme der Stallemissionen bei Rindern ist neben dem genannten Rückgang des Festmists durch den Wechsel zu Milchvieh-Laufställen mit höheren Stallemissionen im Vergleich zur Anbindehaltung und durch den Rückgang der Weidehaltung aufgrund zunehmender, ganzjähriger Stallhaltung in großen Hochleistungsherden zu erklären.

Tab. 4.9: Verteilung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der Tierhaltung nach Emissionsbereichen innerhalb der jeweiligen Tiergruppe

	<b>Stall</b>	<b>Weide</b>	<b>Lagerung</b>	<b>Ausbringung</b>
	in % der Gesamtemissionen innerhalb der jeweiligen Tiergruppe			
<b>1990</b>				
Rinder	19	7	21	54
Schweine	51	0	28	22
Geflügel	59	0	4	37
<b>1999</b>				
Rinder	25	7	19	49
Schweine	58	0	25	17
Geflügel	59	0	4	38

Quelle: RAUMIS, Stand Februar 2001

Bei Schweinen und Geflügel ist die Stallhaltung die wichtigste Emissionsquelle. Die Lagerung von Schweinedung führt zu deutlich höheren Emissionsanteilen als bei Geflügel, da Geflügeldung meist als Trockenkot gelagert wird, aus dem wenig Ammoniak emittiert. Bei Schweinen kommen bei der Ausbringung bereits verbesserte Techniken zum Einsatz, wodurch sich der Prozentanteil in 1999 gegenüber 1990 verringert. Schweinegülle sickert zudem leicht in den

Boden ein, weshalb die Emissionen auch ohne Einarbeitung geringer bleiben. Anzumerken ist ferner, dass Festmist mit den seinen höheren Gesamtemissionen in der Schweinehaltung wesentlich weniger verbreitet ist als derzeit noch in der Rinderhaltung. Beim Geflügelkot ist die baldige Einarbeitung nach der Trockenkotalausbringung ein wichtiges Verfahrensmerkmal, da der Ammoniakanteil im Kot nicht in den Boden sickern kann und sich ohne Einarbeitung innerhalb von 24 Stunden durch Wiederbefeuchtung leicht verflüchtigen kann.

Zur Darstellung der regionalen Verteilung dienen im folgenden die Abbildung 4.2 sowie die Karten 4.12, 4.13 und 4.14. In der Abbildung sind die in RAUMIS abgebildeten 326 "Modellkreise" (Landkreise bzw. Aggregate aus Stadt- und Landkreisen) in der Reihenfolge der Ammoniak-Emission aus der Tierhaltung in kg pro Hektar Gesamtfläche der jeweiligen Region im Jahr 1995 abgetragen. Bezugsfläche ist also die gesamte, von potentiellen Immissionen betroffene Fläche innerhalb einer Region und nicht die landwirtschaftliche Nutzfläche. In 171 Modellkreisen wird eine Ammoniak-Emission von 10 kg pro Hektar Gesamtfläche und Jahr nicht überschritten. 102 Kreise liegen zwischen 10 und 20 kg Ammoniak-Emission pro Hektar, zwischen 20 und 30 kg liegen 37 Kreise und in 16 Kreisen werden 30 kg überschritten. Die Emissionen aus der Tierhaltung lagen nur in einem Kreis über 50 kg, nämlich im Kreis Vechta mit über 100 kg Ammoniak pro Hektar. Der Anteil der Geflügelhaltung ist in diesem Landkreis sehr hoch.

Die Emissionen bei der Ausbringung von Geflügelkot werden in RAUMIS rechnerisch dem jeweiligen Kreis zugeschlagen, in der die Tiere statistisch ausgewiesen werden. Gerade Geflügelkot ist aber sehr transportwürdig und dürfte zu erheblichen Anteilen aus den Konzentrationsgebieten der Veredelungswirtschaft in Westniedersachsen und im Münsterland in Ackerbaugebieten exportiert werden. Dieser mögliche Dungexport wird aufgrund fehlender Statistiken nicht im Modell RAUMIS abgebildet. Während Emissionen aus der Stallhaltung eindeutig in der jeweiligen Region anfallen, in denen die betreffenden Tierbestände gehalten werden, können Emissionen aus der Ausbringung und ggf. auch ein Anteil aus der Lagerung in anderen Regionen anfallen. Berechnete, regionale Emissionsspitzen werden somit in der Realität möglicherweise stärker in die Fläche verteilt.

Der Anteil der Geflügelkotalausbringung an den Gesamtemissionen spielt aber nur in wenigen Kreisen eine größere Rolle. Nur 19 Modellkreise weisen einen Anteil der Emissionen aus der Geflügelkotalausbringung von über 10 % an den Gesamtemissionen aus der Tierhaltung auf. Nur einer dieser Kreise, nämlich Vechta, liegt dabei über 20 kg Gesamtemissionen pro Hektar Emissionen aus der Geflügelkotalausbringung. Nur hier ist aufgrund der Viehdichte mit einem Export von Trockenkot aus der Region zu rechnen. Für den Landkreis Vechta könnte der Emissionswert bei vollständigem Geflügelkotexport daher um ca. 20 % von über 100 auf ca. 80 kg Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung pro Hektar Gesamtfläche und Jahr reduziert werden. Da bei Rinder- und Schweinedung von einer geringen Transportwürdigkeit ausgegangen werden kann, erscheint für diese Dungarten die Annahme einer Ausbringung innerhalb der jeweiligen Region realistisch. Nur in Ausnahmefällen dürfte Rinder- und Schweingülle weiter transportiert werden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die regionale Verteilung insgesamt realitätsnah dargestellt wird. Zu bedenken ist wiederum, dass hier nur die Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung abgebildet werden, andere Emissionen, insbesondere aus der Mineraldüngeranwendung, kommen noch hinzu.

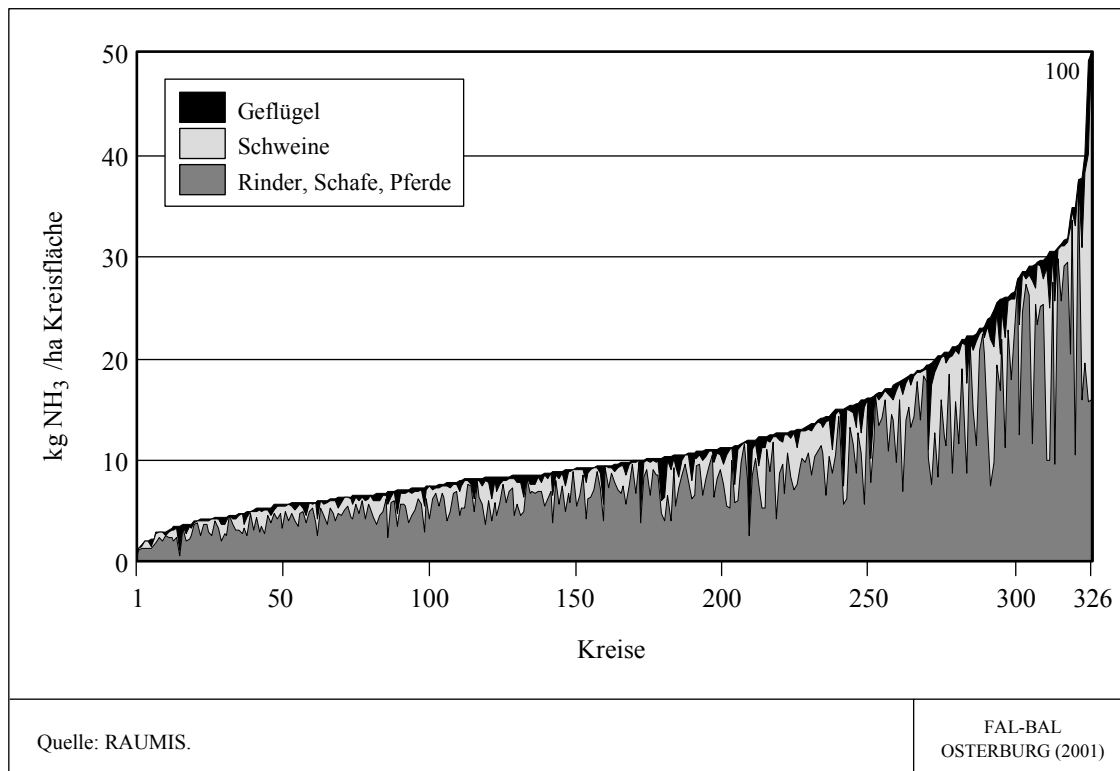


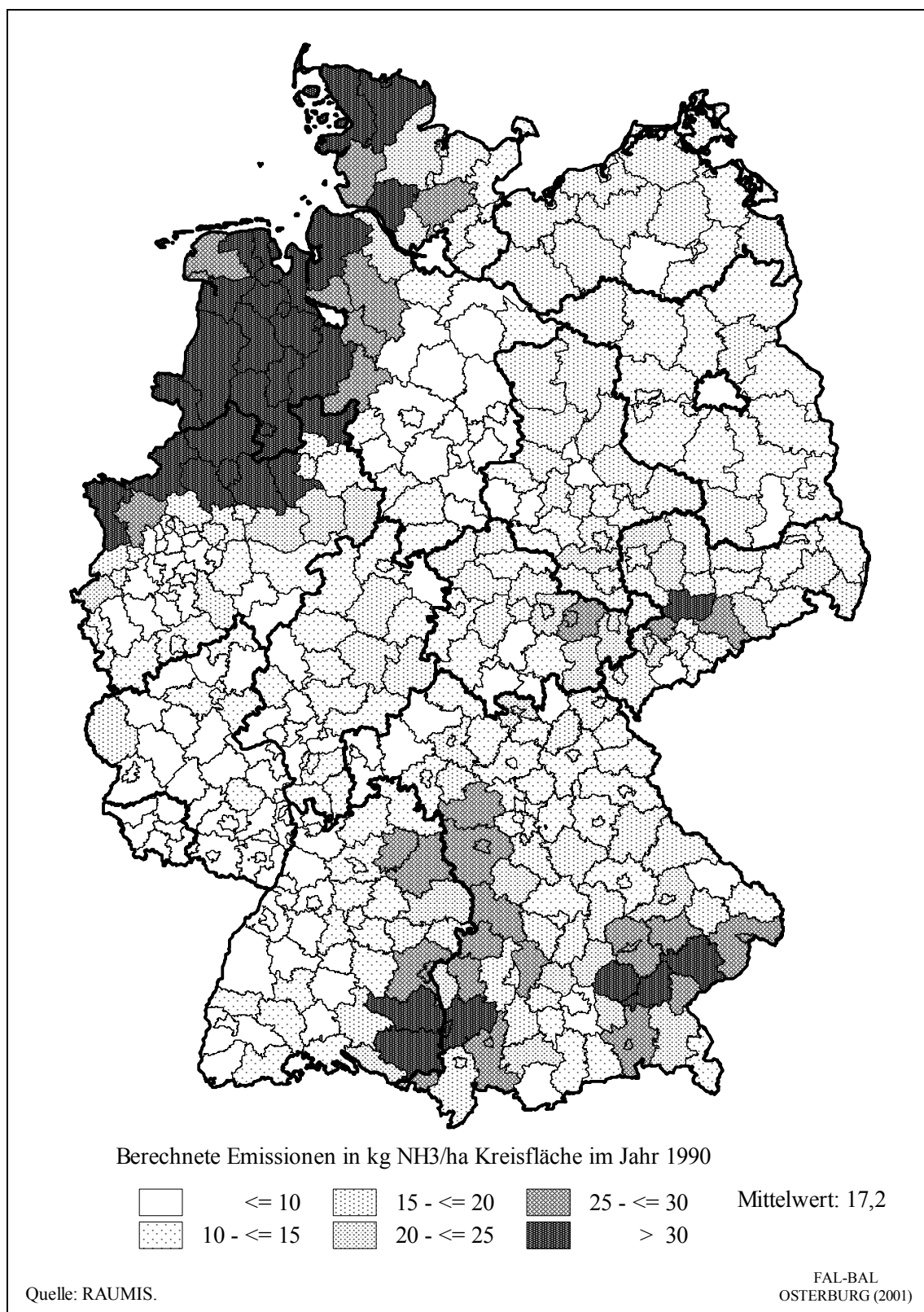
Abb. 4.2: Emissionen in kg NH<sub>3</sub> je Hektar Kreisfläche\* im Jahr 1995: Zusammensetzung der Emissionen nach RAUMIS-Regionen (Modellkreisen)  
(\* gesamte Kreisfläche, nicht LF)

Die Differenzierung nach Emissionen aus der Rinderhaltung (mit Schafen und Pferden), der Schweine- und der Geflügelhaltung zeigt, dass Emissionen aus der Schweinehaltung gerade in Regionen mit höheren Gesamtemissionen erhebliche Anteile erreichen, während der Anteil der Geflügelhaltung nur in wenigen Kreisen eine wichtige Rolle spielt. Emissionen aus der Rinderhaltung stellen in Gebieten mit niedriger Gesamtemission den größten Anteil der Emissionen, andererseits erreichen allein die Emissionen aus der Rinderhaltung in einigen Kreisen mit hoher Rindviehdichte Werte von fast 30 kg Ammoniak pro Hektar Gesamtfläche.

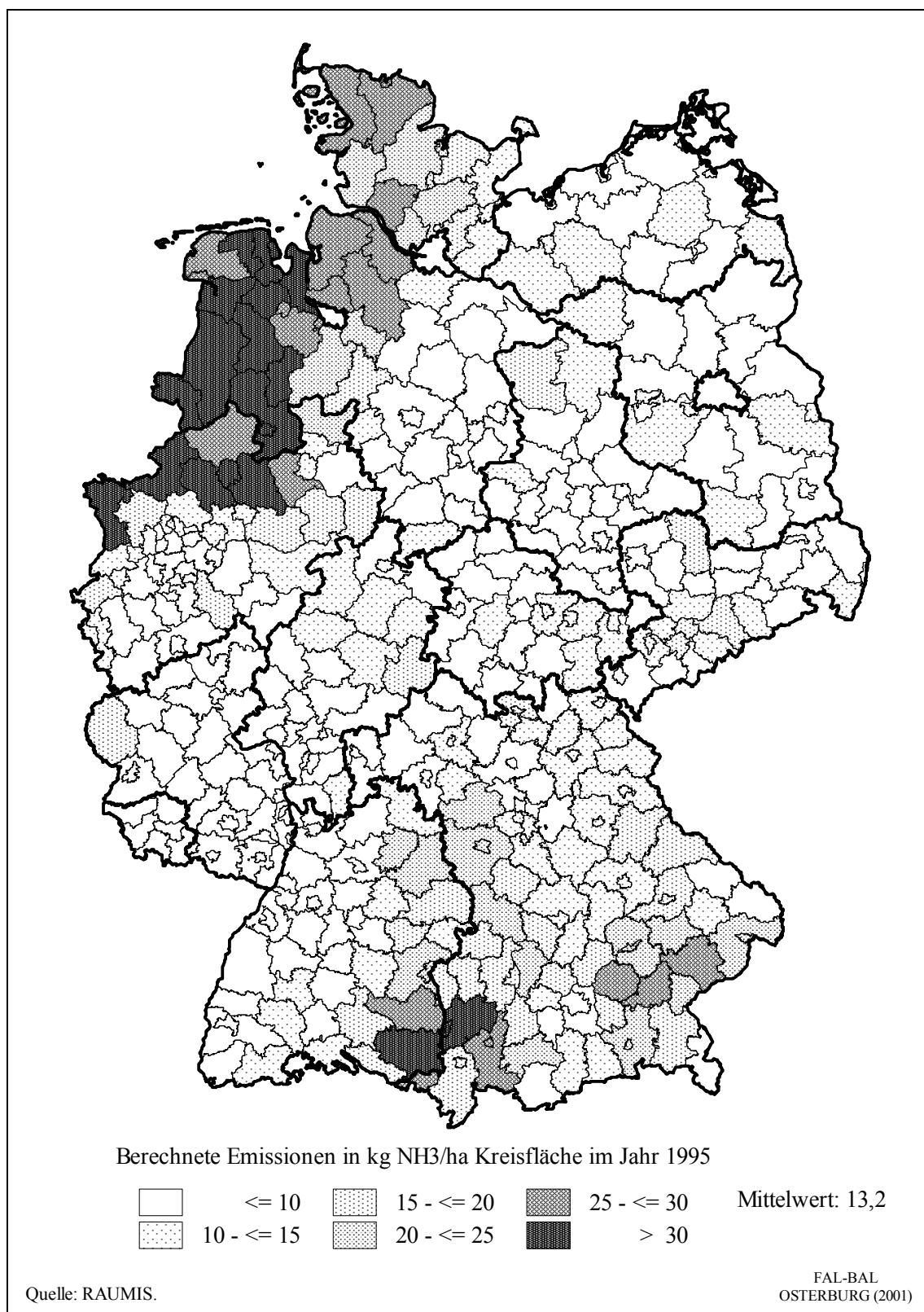
Die Karten zeigen zum einen eine deutliche Konzentration der Ammoniak-Emissionen in Nordwestdeutschland, und zwar sowohl in den Konzentrationsgebieten der Veredelung mit ihren hohen Schweine- und Geflügelbeständen (westliches Niedersachsen, Münsterland), als auch in den benachbarten Regionen mit intensiver Rinderhaltung und sehr hohen Rinderviehbesatzdichten (Niederrhein, Niederungs- und Marschgebiete an der Nordsee). Weiterhin sind im Voralpengebiet (Allgäu, Gebiete östlich von München) höhere Emissionswerte aus der Rinderhaltung zu beobachten. Im nördlichen Baden-Württemberg (Hohenloher Ebene) und westlichen Bayern führen die hohen Schweinebesatzdichten zu höheren Emissionswerten. In den neuen Ländern gab es nur im Jahr 1990 erhöhte Emissionen in Sachsen und Thüringen, in den nachfolgenden Jahren sanken die Emissionen in den gesamten neuen Ländern auf Werte unter 20 kg/ha Gesamtfläche. Auch in den anderen Regionen Westdeutschlands liegen die Emissionen unter 20 kg Ammoniak aus der Tierhaltung pro Hektar, vor allem bedingt durch niedrigere Viehbesatzdichten und durch regional unterschiedliche Flächennutzungsverhältnisse. In Gebieten mit hohem Anteil von Wald oder Siedlungsflächen kommt es auch bei hohen Emissionen pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzflächen zu geringen, auf die Gesamtfläche bezogenen Emissio-

nen.

Im zeitlichen Verlauf zeigt sich auch in den Karten eine deutliche Reduzierung der Ammoniak-Emissionen. Für die Karten wurden immer die gleichen Klassengrenzen verwendet. Dadurch lässt sich der Rückgang anhand der Abnahme der dunkel eingefärbten Kreise mit hohen Emissionswerten gut erkennen. Zur Einordnung der Emissionshöhen sei angemerkt, dass 20 kg Ammoniak ca. 16,5 kg N entsprechen. Bei der Annahme, dass die "critical loads" für viele Ökosysteme bei zwischen 5 und 15 kg N liegen und die Immission in etwa der lokalen Emission entspricht, wird dieser Schwellenwert auch ohne Berücksichtigung anderer N-Quellen wie dem Ammoniak aus Mineraldüngern in sehr vielen Kreisen überschritten. Über der Schwelle von 5 kg ha<sup>-1</sup> N liegen 263 Modellkreise, über 10 kg ha<sup>-1</sup> N noch 114 und über 15 kg ha<sup>-1</sup> N 63 Modellkreise. Dies zeigt, dass es neben den augenfälligen Spitzenwerten auch ein nahezu flächendeckendes Problem des N-Eintrages geben könnte, je nachdem, wo der Schwellenwert angesetzt wird und welche Annahmen über die regionale Immission getroffen werden.

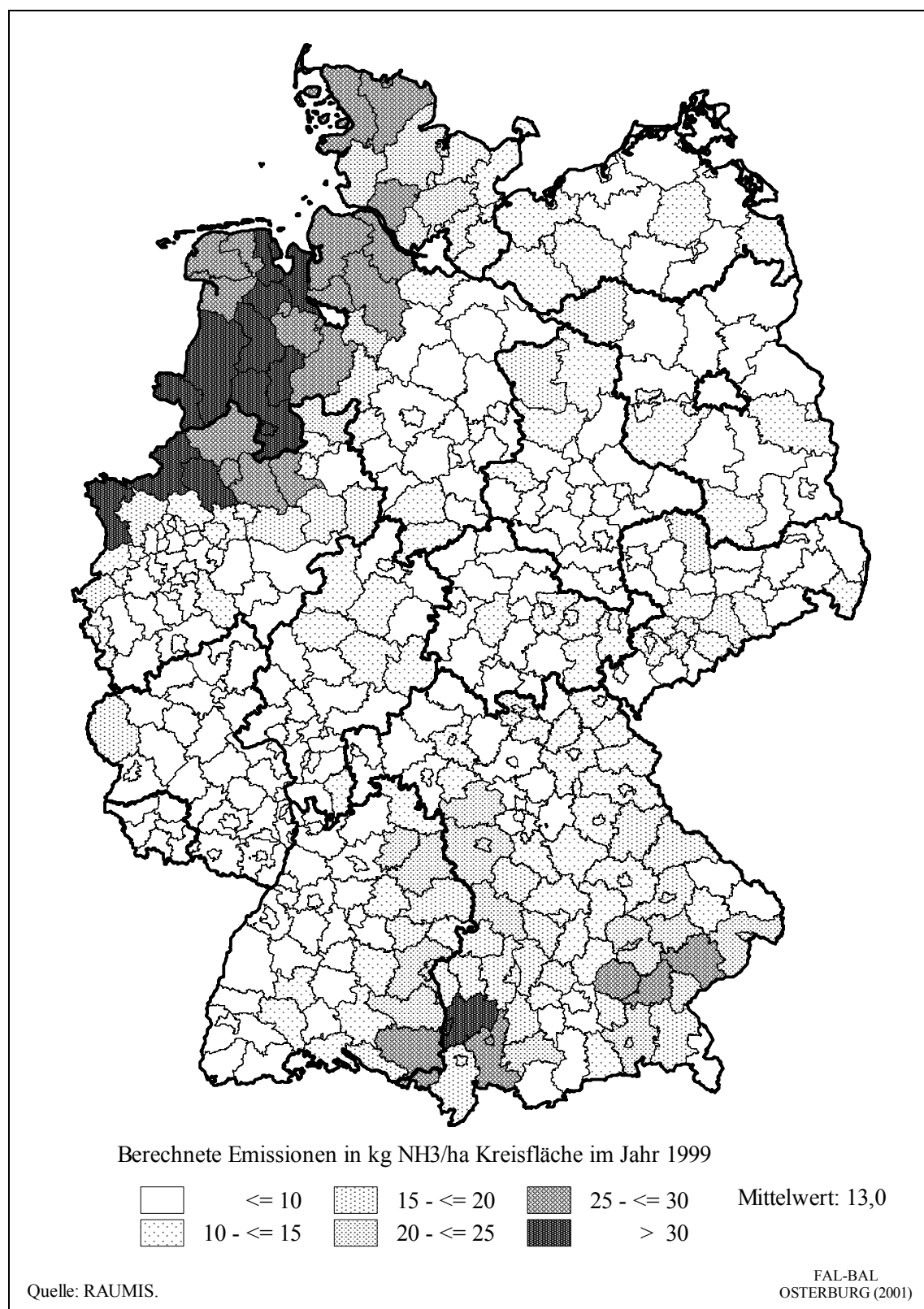


Karte 4.12: Berechnete Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in kg NH<sub>3</sub>/ha Kreisfläche im Jahr 1990 (gesamte Kreisfläche, nicht LF)



Karte 4.13: Berechnete Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in kg NH<sub>3</sub>/ha Kreisfläche im Jahr 1995 (gesamte Kreisfläche, nicht LF)





Karte 4.14: Berechnete Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in kg NH<sub>3</sub>/ha Kreisfläche im Jahr 1999 (gesamte Kreisfläche, nicht LF)

#### 4.2.2 Vergleich der Schätzung von NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung für das Jahr 1996

Mit dem Kalkulationsprogramm GAS-EM wurde die Ausgangssituation für die Jahre 1994 und 1996 berechnet. Zu Vergleichszwecken wurde daher eine RAUMIS-Rechnung für das Jahr 1996 durchgeführt. Dabei sind in RAUMIS drei Auswertungen möglich, die mit Kürzeln bezeichnet werden:

- RAUMIS-Berechnungen mit Berücksichtigung unterschiedlicher Temperaturen bei Gülle- und Jaucheausbringung (Mist wird einheitlich über alle Ausbringungszeiträume berechnet) (Kürzel: T5\_25)
- RAUMIS-Berechnungen mit Kalkulation der Gülle- und Jaucheausbringung bei einer einheitlichen Temperatur von 15 °C (Kürzel: T15)
- Hochrechnung von Koeffizienten der "Simpler Methodology" (Standard-Berechnungsverfahren mit festen E-Faktoren, ohne Verfahrensdifferenzierung) nach EEA/CORINAIR (2000) (Kürzel: EEA\_RAU)

Den drei Rechenwegen in RAUMIS werden in der Vergleichstabelle 4.10 Rechenergebnisse aus einer Veröffentlichung von EEA/CORINAIR aus dem Jahr 1996 sowie die Ergebnisse des Kalkulationsprogramms GAS-EM für 1996 gegenüber gestellt. Verglichen werden nur die Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung. Die nach der „Simpler Methodology“ mit Standard-Berechnungsverfahren ohne Verfahrensdifferenzierung berechneten Schätzungen EEA (nach EEA/CORINAIR 1996) und die entsprechende Berechnung in RAUMIS (EEA\_RAU) fallen unterschiedlich aus. Dies kann mit unterschiedlich standardisierten E-Faktoren für die Berechnung begründet werden, ggf. auch mit Unterschieden bei den zugrunde liegenden Tierzahlen. Während sich die in RAUMIS verwendeten Koeffizienten auf dem Stand von 2000 befinden, ist die EEA-Veröffentlichung älteren Datums. Beide Standardschätzungen weisen höhere Emissionen aus als die nach Tierhaltungs- und Dungmanagementverfahren differenzierten Berechnungen mit GAS-EM und RAUMIS. Die differenzierten Rechnungen liegen gegenüber der Standardschätzung von 1996 um ca. 15-20 % niedriger. Die Hochrechnung in RAUMIS mit aktuellen Koeffizienten, EEA\_RAU, führt zu einer etwas geringer ausfallenden Schätzung, hier liegen die differenzierten Kalkulationen noch um 7-15 % niedriger. Dieser erste Vergleich zeigt, dass die im Projekt entwickelten, nach Verfahren differenzierten Emissionskalkulationen offenbar zu deutlich niedrigeren Emissionsschätzungen führen, der Abstand zum Standardverfahren kann sich aber durch die Anwendung aktueller E-Faktoren verringern.

In einem zweiten Vergleich werden die Ergebnisse von GAS-EM und RAUMIS einander gegenüber gestellt. Um zu einer vergleichbaren Basis zu kommen, wurde in RAUMIS der Rechenweg T15 genutzt, da in GAS-EM mit einheitlichen Ausbringungstemperaturen von 15 °C gerechnet wird. Die Unterschiede sind in Tabelle 4.10 als Differenz in Prozenten auf Basis der GAS-EM-Ergebnisse ausgewiesen. Positive Werte bedeuten, dass die Schätzungen in GAS-EM niedriger ausfallen als in RAUMIS. Insgesamt werden die Emissionen in RAUMIS um 6 % höher eingeschätzt. Der größte Teil der Abweichung von 29.000 t Ammoniak geht auf die Unterschiede bei Milchkühen, Kälbern und Pferden zurück. Bei Schafen, Pferden und Geflügel sind die Unterschiede damit zu erklären, dass in GAS-EM mit vereinfachten Ansätzen gerechnet wurde, die nicht der Vorgehensweise in RAUMIS entsprechen. Die in RAUMIS berechneten Emissionen bei Kälbern fallen aufgrund unterschiedlicher Annahmen deutlich höher aus als in den GAS-EM-Ergebnissen. Erstens wurde angenommen, dass Kälber auf Stroh gehalten werden und aufgrund der hohen Einstreumengen kein bedeutender Jaucheanteil anfällt, und zweitens wurde

eine Umsetzung des organisch gebundenen Stickstoffs im Mist berechnet. Diese Annahmen waren vor der Programmierung in der Projektgemeinschaft abgestimmt worden. Aufgrund der angenommenen, ganzjährigen Stallhaltung der Kälber auf Mist ergeben sich in RAUMIS hohe Emissionen.

Tab. 4.10: Vergleich der Schätzung von NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung: Ergebnisse aus GAS\_EM und RAUMIS für das Jahr 1996

Modell	EEA	GAS_EM	RAUMIS		Differenz		Differenz
Jahr	1996	1996	1996	1996	1996	T15 zu GAS_EM	T5_25 zu T15
- - - - - in 1000 t NH <sub>3</sub> - - - - -							
Rechenweg			T5_25	T15	EEA_RAU	(%)	(%)
Milchkühe	187	185,8	166,8	193,9	179,9	4,3	-14,0
Kälber	.	15,6	24,4	24,4	.	56,1	0,0
Mastbullen	.	41,9	31,6	39,2	.	-6,5	-19,2
Färsen	.	59,5	49,2	54,6	.	-8,2	-9,9
Mutterkühe	.	15,9	14,7	15,0	.	-5,9	-2,0
Schlacht- und Mastkühe	.	.	1,5	1,7	.	.	-9,9
Rinderhaltung ohne Milchkühe (other cattle)	185	132,9	121,4	134,8	182,8	1,4	-9,9
<b>Rinder gesamt</b>	<b>372</b>	<b>318,7</b>	<b>288,2</b>	<b>328,6</b>	<b>362,7</b>	<b>3,1</b>	<b>-12,3</b>
Mastschweine	128	80,1	75,1	78,0	99,9	-2,6	-3,7
Sauen	52	38,9	42,4	43,8	41,8	12,7	-3,2
<b>Schweine gesamt</b>	<b>181</b>	<b>118,9</b>	<b>117,5</b>	<b>121,9</b>	<b>141,7</b>	<b>2,5</b>	<b>-3,6</b>
Schafe	3	2,1	6,3	6,3	2,7	198,0	0,0
Pferde	4	9,3	20,9	20,9	6,3	124,4	0,0
Legehennen	26	18,5	17,0	17,0	19,0	-7,9	0,0
Masthähnchen	10	6,2	6,6	6,6	12,3	6,8	0,0
Junghennen	.	3,0	2,5	2,5	4,9	-15,9	0,0
Sonstiges Geflügel	7	8,6	9,2	9,2	3,0	8,2	0,0
<b>Geflügel gesamt</b>	<b>43</b>	<b>36,3</b>	<b>35,4</b>	<b>35,4</b>	<b>39,2</b>	<b>-2,4</b>	<b>0,0</b>
<b>Tierhaltung gesamt</b>	<b>603</b>	<b>485,4</b>	<b>468,3</b>	<b>513,1</b>	<b>552,6</b>	<b>5,7</b>	<b>-8,7</b>
<b>Kürzel:</b>	T5_25	RAUMIS-Berechnungen mit Berücksichtigung unterschiedlicher Temperaturen bei Gülleausbringung					
	T15	RAUMIS-Berechnungen mit Kalkulation der Gülleausbringung bei 15 °C					
	EEA_RAU	Hochrechnung von Koeffizienten der "Simpler Methodology" nach EEA/CORINAIR (2000) in RAUMIS					

Quelle: EEA 1996: vgl. EEA/CORINAIR (1996); GAS-EM, RAUMIS (Stand Februar 2001)

Derzeit sind noch nicht alle zwischen den beiden Modellen auftretenden Unterschiede geklärt. Der Vergleich zeigt aber, dass die Modelle auf Basis des parallelen Einsatzes besser auf Fehler und methodische Unstimmigkeiten geprüft werden können. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in den RAUMIS-Rechnungen die Situation nicht „optimistischer“ eingeschätzt wird als durch das Kalkulationsprogramm GAS-EM, die Unterschiede liegen für die summierten Emissionen von Rindern, Schweine und Geflügel in vergleichbarer Höhe.

Im letzten Vergleich geht es um die Differenzierung nach Temperaturen bei der Gülle- und Jaucheausbringung im Modell RAUMIS. Die Differenz zwischen den entsprechenden Rechenwegen T15 und T5\_25 sind in der Tabelle 4.10 als prozentuale Abweichung auf Basis von T15 dargestellt. Die Emissionsschätzung fällt bei der nach Ausbringungstemperatur differenzierter Berechnung insgesamt um knapp 9 % geringer aus. Wegen der hohen Bedeutung der Ausbringung von Rinderdung für die Gesamtemissionen ist dieser Unterschied zu 90 % auf die unterschiedliche Ergebnisse bei Rindern zurückzuführen, abweichende Emissionszahlen bei Schweine erklären nur knapp 10 % des Unterschieds. Für eine Prüfung der Berechnung temperaturabhängiger Emissionswerte sollten daher vor allem die Annahmen zur Ausbringung von Rindergülle nach Flächenart und Jahreszeit überprüft werden.

#### **4.2.3 Sensitivitätsanalysen zur Abschätzung des Einflusses einzelner Annahmen auf das Kalkulationsergebnis**

Wie im vorherigen Abschnitt gezeigt werden konnte, kommt es durch die unterschiedlichen Rechenwege zu erheblichen Abweichungen bei den Emissionsschätzungen. Daher soll im folgenden für eine Reihe von Annahmen untersucht werden, wie stark sich Variationen der entsprechenden Annahme verändernd auf das Gesamtergebnis der Emissionsberechnung auswirken. Insbesondere sollen Annahmen, die nicht mit Daten aus der Officialstatistik zu belegen sind, durch Variationsrechnungen überprüft werden. Dafür werden die Annahmen für die Ausgangssituation im Jahr 1999 als Referenz mit Zu- und Abschlägen in Höhe von 10 % verändert. Die Auswertungen können Hinweise auf die Stabilität der Ergebnisse und die Bedeutung unterschiedlicher Annahmebereiche geben. Hieraus kann wiederum weiterer Forschungs- und Datenerhebungsbedarf für verbesserte Rechenverfahren abgeleitet werden, wobei die entsprechende Prioritäten gezielter definiert werden können.

Die Variationsrechnungen basieren auf temperaturabhängigen E-Faktoren für die Ausbringung. Dieser Berechnungsweg führt, wie in Abschnitt 4.2.2 gezeigt, zu einer berechneten Gesamtemissionen aus der Tierhaltung, die um knapp 9 % niedriger ausfällt, verglichen mit einer Rechnung bei konstant 15 °C Lufttemperatur bei der Ausbringung. Die Berücksichtigung unterschiedlicher Lufttemperaturen bei der Ausbringung ist als realistischer anzusehen und ermöglicht es, die Wirkungen von Verschiebungen der Ausbringungszeiten auf die Ammoniak-Emission abzuschätzen.

Die Wirkung wichtiger Annahmen auf die Ergebnisse wird durch voneinander unabhängige Variationsrechnungen ( $\pm 10\%$  der Ausprägung in der Referenzsituation) überprüft. Verglichen wird die Änderung der Summe der Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung gegenüber der angenommenen Ist-Situation im Jahr 1999 („Basisjahr 1999“ als Referenz). Die einzelnen Rechnungen sind in Tabelle 4.11 zusammengestellt, sie wurden nach Tiergruppen getrennt durchgeführt (Spalte "Tierart"). Dabei werden Koeffizienten (E-Faktoren, Anteil Gras an der Milchviehration) mit prozentualen Auf- oder Abschlägen von 10 Prozent belegt.

Bei den Annahmen zu technischen Verfahren muß die jeweilige Annahme auf Kosten einer anderen Größe erhöht werden und umgekehrt. Die Erhöhung des Gülleanteils geht z. B. mit einer Verringerung des Mistanteils einher. In der Tabelle 4.11 wird die jeweilige, ebenfalls zu verändernde Verfahrensalternative mit "versus" gekennzeichnet. Zu berücksichtigen ist, dass es bei einer Ausprägung in der Referenzsituation von 0 (z.B. bei Weidegang = 0) zu keiner Änderung der Annahmen kommt. Bei anderen Merkmalen stoßen die Änderungen an Restriktionen, z. B. kann ein Anteil güllebasierter Systeme von 95 % an allen Systemen in der Referenzsituation nicht mehr um 10 %-Punkte erhöht werden. Zur Verbesserung der Vergleichbarkeit werden die Änderungen der berechneten Emissionen auf die Änderung des betreffenden, variierten Verfahrens um einen Prozent-Punkt gegenüber der Ausgangssituation bezogen. Deshalb liegt bei den technischen Verfahren die Spanne der Variation bei Werten unterhalb von 20 %. Beispielsweise wurde der Anteil der N-Ausscheidungen in Gülle in Prozent der gesamten N-Ausscheidungen bei Schweinen in einer Spanne von 12,5 %-Punkten vom Ausgangswert variiert. Bei den Rechnungen wurde der Gülleanteil am Schweinedung ausgehend von 86,5 % in der Referenzsituation auf 90,07 % Anteil erhöht und auf 77,54 % verringert. Bei den E-Faktoren beträgt die Spanne, innerhalb derer die Faktoren variiert wurden, immer 20 % (aus  $\pm 10$  % gegenüber dem E-Faktor in der Referenzsituation).

Die Änderungen durch die Variation werden in t Ammoniak-Emission aus der Tierhaltung sowie als prozentuale Änderung der Gesamtemission aus der Tierhaltung in Deutschland auf Basis der angenommenen Ausgangssituation im Jahr 1999 ausgewiesen. Die Sensitivität der Ergebnisse gegenüber der Änderung eines Merkmals wird durch die Bedeutung des Emissionsbereichs bestimmt, der von der Variation betroffen ist. So liegt die Sensitivität bei der Rinderdungausbringung am höchsten, was dem hohen Betrag dieser Einzelquelle zu den Gesamtemissionen entspricht. Auch Änderungen, von denen die gesamte Wirtschaftsdünger-Kette betroffen ist, wie z. B. ein veränderter Mistanteil am gesamten Dungaufkommen, wirken sich stärker aus. Negative Änderungen bedeuten, dass es durch die Erhöhung des variierten Merkmals zu einer Reduzierung der Emissionen kommt, bei positiven Werten kommt es zu einer Erhöhung der berechneten Emissionen.

Beispielsweise hat eine Erhöhung des Gülleanteils bei Schweinen wie bei Rindern eine Reduzierung der kalkulierten Emissionen zur Folge. Die Gesamtemission verringert sich bei einem Prozent mehr Gülle am gesamten anfallenden Dung bei Schweinen um 0,19 %. Bei Rindern fällt die Reduktion aufgrund des Anteils der Weidehaltung und des geringeren Ammoniak-Gehaltes im Dung etwas niedriger aus. Die Ausdehnung der Weidehaltung bei Rindern hat eine deutliche Verringerung der Gesamtemissionen zur Folge, bereits 1 %-Punkt mehr N-Ausstoß auf der Weide an der gesamten N-Ausscheidung von Rindern verringert die Gesamtemission aus der Tierhaltung um 0,268 % (vgl. Tab. 4.11).

Wird im Sommer die Ausbringung von Gülle und Jauche um 1 %-Punkt vom gesamten, auszubringenden Dung unter Verringerung der Frühjahrsausbringung erhöht, steigt die Gesamtemission um 0,237 % an (0,026 % aus Schweine- und 0,211 % aus Rinderdung). Allein die Unterschätzung dieses Verfahrensmerkmals um 10 Prozentpunkte würde also das Ergebnis um ca. 2,3 % unterschätzen. Die Ausführungen in Kapitel 2.6.2.2 legen aber nahe, dass dieses Merkmal ausreichend genau geschätzt wurde. Die Erhöhung des Anteils der Ausbringung auf bewachsene Flächen (Ackerland mit Kulturen bei Schweinegülle, Grünland bei Rindergülle) um 1 %-Punkt vom gesamten, auszubringenden Dung führt zu einer Steigerung der Gesamtemission um 0,216 %. Bei der möglicherweise starken Unterschätzung des Ausbringungsanteils auf bewachsene Flächen, beispielsweise um 20 Prozent (vgl. Kapitel 2.6.2.2), würde sich eine Un-

terschätzung der Gesamtemissionen um 4,3 % ergeben.

Eine Variation des Grasanteils in der Milchviehration hat nach den RAUMIS-Rechnungen einen weniger starken Einfluss auf die Gesamtemission. Ein höherer Grasanteil in der Ration erhöht zwar über den steigenden N-Ausstoß pro Kuh die Gesamtemissionen. In den Ausgangsdaten werden aber nur bei gut 40 % aller Milchkühe Rationsanteile unter 75 % Gras in der Grundfutter-Trockenmasse angenommen. Damit liegt ein hoher Anteil der Milchviehrationen in einem Bereich, in dem die Rationsänderung keinen Einfluss auf die Höhe der N-Ausscheidung der Kühe hat. Selbst bei einer hohen Überschätzung des Grasanteils von 20 %-Punkte werden die Gesamtemissionen aus der Tierhaltung durch höhere, berechnete N-Ausscheidungen in der Milchviehhaltung um nur ca. 1 % überschätzt. Da die geschätzten Futterbilanzen aber mit den statistischen Futterflächen und Erträgen abgeglichen sind, sind so große Abweichungen unwahrscheinlich.

Besonders stark wirken sich Annahmen zur Verteilung der Stickstoffausscheidungen in Festmistsystemen auf Festmist und Jauche aus. Wird der N-Anteil in Jauche in Prozent vom gesamten Mist- und Jauchestickstoff bei Rindern und Schweinen um nur einen Prozentpunkt erhöht, verringert sich die gesamte Emission aus der Tierhaltung um mehr als 0,5 %. Dies ist damit zu erklären, dass der Anteil an ammonifizierbarem Stickstoff in der Jauche besonders hoch ist und bei Jauche sehr geringe Lagerungs- und Ausbringungsverluste entstehen. Bei der Festmistlagerung und Ausbringung entweicht der größte Teil des in ammonifizierbaren Stickstoffs. Aus diesem großen Unterschied zwischen beiden Wirtschaftsdüngern erklärt sich die hohe Sensitivität des Merkmals "Stickstoffanteil in Jauche".

Wird die Annahme über die Umsetzung des organisch gebundenen Stickstoffs während der Lagerung in ammonifizierbaren Stickstoff (TAN) verändert, ergeben sich ebenfalls hohe Veränderungen des Rechenergebnisses. In den Berechnungen in RAUMIS wird von einer einheitlichen Umsetzung von 10 % des organischen Stickstoffs in TAN ausgegangen, bei Festmist wird zusätzlich der Stickstoff aus Stroh einbezogen. Ohne die Berücksichtigung der Umsetzung in allen Wirtschaftsdüngern läge die Gesamtemission um 6 % unter der Referenzsituation, nur auf Festmist bezogen läge die Differenz immer noch bei 3,35 %.

Nicht aufgeführt ist in der Übersicht die Frage der sofortigen Einarbeitung von ausgebrachtem Wirtschaftsdünger. Sie ist besonders dann wichtig, wenn viel Dung im Sommerhalbjahr auf unbedeckte Böden ausgebracht wird. Dies ist vor allem bei Schweinegülle und mehr noch bei Geflügel-Trockenkot der Fall, bei Rindergülle fällt dieser Anteil durch Weidehaltung und die höheren Ausbringungsanteile auf Grünland, wo ohnehin keine Einarbeitung stattfindet, niedriger aus. Entscheidend für die Ergebnisse ist nicht zuletzt die Berechnung der Stickstoffausscheidungen nach Tierart, Fütterung und Leistung. Eine verringerte Stickstoffausscheidung führt zu einer proportionalen Reduktion der Ammoniak-Emissionen. In den Modellrechnungen wurden für die Basisjahre nur Annahmen über die Verbreitung N-angepasster Fütterung in der Schweinemast berücksichtigt. Über die Höhe des Anteils und die Wirkung auf die N-Ausscheidung besteht aber Unsicherheit. Eine mögliche, hohe Überschätzung der Verbreitung N-angepasster Fütterung bei Mastschweinen oder der mit den Fütterungsmaßnahmen einhergehenden Minderung der N-Ausscheidung um 25 % würde zu einer Unterschätzung der Gesamtemissionen aus der Tierhaltung von 1 % führen.

Eine Betrachtung der Wirkung veränderter E-Faktoren zeigt, dass entsprechend der Anteile an den Gesamtemissionen vor allem die Faktoren zur Rinderdungausbringung und zur Stallhaltung bei Schweinen sowie bei Rindern zu den entscheidenden Variablen gehören. Die Abweichun-

gen bei Variation der E-Faktoren für Stallmist zeigen, dass sich hier aufgrund der geringen Mistanteile am gesamten Dung Änderungen der E-Faktoren im Gesamtergebnis kaum bemerkbar machen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Bei **Rindern** ist der Anteil der Weidehaltung ein wichtiger, aber nicht statistisch erfasster Parameter. Weiterhin ist die Verteilung der Gülle, vor allem nach Jahreszeiten, danach auch nach Flächen, ein entscheidendes Merkmal, das bisher nur über Experten und Modellierung geschätzt wird. Da ein großer Teil der Rindergülle auf Grünland ausgebracht wird, wo keine Einarbeitung erfolgen kann, ist hier die Lufttemperatur bei der Ausbringung und somit die jahreszeitliche Verteilung der Ausbringung ein entscheidendes Merkmal. Zur Beschreibung der Weidehaltung und der Ausbringung fehlen aber statistische Daten. Der Anteil von Mist und Gülle spielt ebenfalls eine zentrale Rolle. Hier sind die bisherigen Schätzungen auf sektoraler Ebene befriedigend, Verbesserungen sollten vor allem bei der regionalen Abbildung von Mist- und Güllesystemen angestrebt werden. Bei der Verbesserung der E-Faktoren sollte ein Schwerpunkt auf Stall und Ausbringung gelegt werden.
- Bei **Schweinen** ist der Anteil von Mist und Gülle noch entscheidender als bei Rindern. Bei der Ausbringung ist die Frage der Verteilung nach Flächen wesentlich bedeutender als bei der Rinderhaltung. Die jahreszeitliche Verteilung ist bei Schweinegülle weniger sensitiv, da bei einer Verlagerung ins Frühjahr oft nur auf bewachsene Flächen ausgebracht werden kann. Eine Ausbringung im Sommer ermöglicht dagegen die Einarbeitung der Gülle, da mehr unbewachsene Flächen (z. B. Getreidestoppel) zur Verfügung stehen. Bedeutender ist hier also der Anteil der Ausbringungsmengen auf Flächen, die eine Einarbeitung ermöglichen. Bei den E-Faktoren ist vor allem die Abbildung der Stallemissionen zu verbessern.
- Nicht vernachlässigt werden sollte die kritische Prüfung und Weiterentwicklung der Koeffizienten für die **Stickstoff-Ausscheidungen** in der Tierhaltung, möglichst differenziert nach Tierart, Fütterung und Leistung. Auch hier fehlen aber Statistiken zu den Fütterungsverfahren und eine Zuordnung zu tatsächlichen Ausscheidungsgrößen. Bei den Annahmen zu den Ausscheidungen wirken Fehleinschätzungen, wie sie möglicherweise bei der Fütterung in der Schweinemast für die Basisjahrberechnungen vorliegen, besonders stark auf das Ergebnis.
- Die **Genauigkeit der Emissionsschätzungen** wird durch eine Reihe derzeit nur schwer überprüfbarer Annahmen über die Verbreitung von Verfahren der Stall- und Weidehaltung sowie der Wirtschaftsdüngerlagerung und Ausbringung beeinflusst. Besonders stark auf die Ergebnisse wirken die Annahmen über die Verteilung der Stickstoffausscheidungen auf Gülle, Mist, Jauche und Weidegang sowie zur N-Umsetzung während der Lagerung. Die Dungverteilung nach Flächen und Jahreszeiten und die Verbreitung N-angepasster Fütterung sind ebenfalls entscheidende Größen. Regional ist die Aussagekraft der Rechenergebnisse durch die Unschärfe bei den Annahmen eingeschränkt, für den Agrarsektor insgesamt ist aber davon auszugehen, dass Fehler bei den Annahmen durch die Summierung von Über- und Unterschätzungen und deren positive wie negative Wirkungen auf das Gesamtergebnis stärker kompensiert werden.

Tab. 4.11: Variationsrechnungen mit der Änderung von Annahmen gegenüber der Ausgangssituation für das Jahr 1999 sowie die jeweilige Wirkung auf das Ergebnis der Emissionsschätzung (Abweichungen vom Basisjahr 1999)

Variationsrechnung	Tierart <sup>1)</sup>	Variiertes Merkmal	Spanne der Variation	Änderung t <sup>2)</sup>	Änderung % <sup>3)</sup>
Verfahren		Variation unterschiedlich	in %-Punkten	je 1 %-Punkt	
1. Anteil Gülle (versus Mist/Jauche)	Sch.	Gülle-N in % vom ges. N	12,5	-862	-0,185
2. Anteil Dungausr. im Sommer (versus Frühjahr (bis Mitte April))	Sch.	Ausbringung. im Sommer in % vom ges. Dung	12,3	120	0,026
3. Anteil Dungausr. auf bew. Acker (versus unbew. Ackerland)	Sch.	Ausr. auf bewachsenem. Acker in % vom ges. Dung	7,1	380	0,082
4. Anteil Gülle (versus Mist/Jauche)	Ri.	Gülle-N vom ges. N ohne Weide	12,9	-750	-0,161
5. Anteil N-Ausscheidung auf Weide (versus Stall)	Ri.	N auf Weide in % vom ges. N	12,7	-1.246	-0,268
6. Anteil Gras an der Milchvieh-Grundfutter-Ration	Ri.	Grasanteil in % der Grundfutter-Ration	15,4	175	0,038
7. Anteil Dungausr. im Sommer (versus Frühjahr (bis Mitte April))	Ri.	Ausbringung. im Sommer in % vom ges. Dung (ohne Weide)	13,9	981	0,211
8. Anteil Dungausr. auf Grünland (versus unbew. Ackerland)	Ri.	Anteil Ausr. auf Grünld. in % vom ges. Dung (ohne Weide)	9,3	622	0,134
9. Anteil N in Jauche versus Anteil im Festmist	Ri. & Sch.	Anteil N in Jauche in % des ges. Mist- und Jauche-N	5,7	-2.492	-0,535
10. Umsetzung von org. gebundenem Stickstoff im Dunglager in TAN	alle	Keine Umwandlung in TAN statt wie angenommen 10%	10	2.831	0,608
11. wie 10., aber nur bei Festmist	alle	Keine Umsetzung im Mist	10	1.558	0,335
<b>E-Faktoren</b>		<b>Variation immer +/-10%</b>	<b>in %</b>	<b>je 1 %</b>	
12. E-Faktoren Stall	Sch.	Basis: bisheriger E-Faktor	20	513	0,110
13. E-Faktoren Lagerung	Sch.	Basis: bisheriger E-Faktor	20	216	0,046
14. E-Faktoren Ausbringung	Sch.	Basis: bisheriger E-Faktor	20	203	0,044
15. E-Faktoren Stall	Ri.	Basis: bisheriger E-Faktor	20	397	0,085
16. E-Faktoren Lagerung	Ri.	Basis: bisheriger E-Faktor	20	211	0,045
17. E-Faktoren Ausbringung	Ri.	Basis: bisheriger E-Faktor	20	1.438	0,309
18. E-Faktoren Ausbringung	Gefl.	Basis: bisheriger E-Faktor	20	155	0,033
19. E-Faktoren Lagerung (nur Mist)	Sch.	Basis: bisheriger E-Faktor	20	37	0,008
20. E-Faktoren Ausr. (nur Mist)	Sch.	Basis: bisheriger E-Faktor	20	61	0,013
21. E-Faktoren Lagerung (nur Mist)	Ri.	Basis: bisheriger E-Faktor	20	120	0,026
22. E-Faktoren Ausr. (nur Mist)	Ri.	Basis: bisheriger E-Faktor	20	368	0,079

1) Ri.: Rinder, Sch.: Schweine, Gefl.: Geflügel

2) Änderung der Emission in t NH<sub>3</sub>-Emissionen bei Erhöhung des unter „Verfahren“ genannten Merkmals um 1 %-Punkt gegenüber der Referenzsituation; positive Werte bedeuten eine Steigerung der Emissionen bei Erhöhung des Merkmals, negative Werte bedeuten eine Emissionsreduktion

3) Änderung der Emission in % bei Erhöhung des unter „Verfahren“ genannten Merkmals um 1 %-Punkt gegenüber der Referenzsituation;

E-Faktoren wurden immer um 10% gegenüber der Referenzsituation erhöht oder verringert  
Basis für die Berechnung der Veränderungen ist die berechnete Ammoniak-Emission aus der Tierhaltung in Deutschland im „Basisjahr 1999“ (Referenz).

Quelle: RAUMIS, Stand Februar 2001



## **5 Minderungspotentiale und Kosten einzelner Maßnahmen zur Minderung der Ammoniak-Emissionen**

### **5.1 Beschreibung der berechneten Maßnahmen**

Zur Vorbereitung der Berechnungen von emissionsmindernden Maßnahmen wurden in der Projektgemeinschaft Kategorien gebildet, die in der Arbeitsgruppe „Agrarstruktur und ökonomische Bewertung“ vorgestellt und diskutiert wurden.

Dabei wurden solche Maßnahmen der Kategorie 1 zugeordnet, für die umfassendere Informationen zu den emissionsmindernden Wirkungen und zu Kosten vorlagen. Für diese Maßnahmen wurden in der KTBL-UBA-Arbeitsgruppe "Emissionsfaktoren und Emissionsminderungsmaßnahmen" entsprechende Annahmen zu den Emissionen abgestimmt. In die zweite Kategorie fallen Maßnahmen, für die es keine abgestimmten E-Faktoren gibt oder für die, wie im Falle der Lagerkapazitätserweiterung, nur in Modellrechnungen eine Wirkungsabschätzung durchgeführt werden kann. In Tabelle 5.1 werden die einzelnen Maßnahmen getrennt nach Tiergruppen vorgestellt.

Auf Grundlage dieser Kategorien wurden für Variationsrechnungen im Modell RAUMIS 30 einzelne, maßnahmenbezogene "Bausteine" ausgewählt. Alle Rechnungen für einzelne Maßnahmen erfolgten aufbauend auf das Basisjahr 1999, da für dieses Jahr die Verfahrensausprägungen und Umfänge durch Befragungen besonders zeitnah erhoben wurden. Weiterhin können auf den aktuellen Ist-Zustand bezogene Potentialrechnungen am besten Hinweise über geeignete, technologische Ansatzstellen für künftige Minderungsmaßnahmen geben.

Für die Berechnungen mussten die genauen Maßnahmenausprägungen (z. B. welche Art der Lagerabdeckung) und deren anzunehmender Umfang (z. B. Anteil der außerhalb von Ställen oder Kellern gelagerten Gülle mit Abdeckung) in den Variationsrechnungen definiert werden. Eine Reihe von Annahmen wurden in der Arbeitsgruppe Ökonomie diskutiert, etwa zur Verbreitung von Stallum- und Neubaumaßnahmen bei Mastschweinen. Andere Annahmen wurden innerhalb der Projektgemeinschaft abgestimmt.

In Tabelle 5.2 werden die ausgewählten Einzelmaßnahmen aufgeführt. Für Minderungsmaßnahmen im Stallbereich wurde eine Abhängigkeit von der Bestandsgrößenklasse angenommen, bei Schweinen auch bei der Fütterung. Bei der Mehrheit der Maßnahmen wurde eine Variante mit 50 % Umsetzung und eine weitere mit 90 % Umsetzung definiert. Im Fall der Güllelagerung wurden aufgrund der leichten Kontrollierbarkeit die maximale Umsetzung mit 100 % angenommen. Durch die Annahmen zu den Verfahren im Jahr 1999 werden einige Minderungspotentiale nur eingeschränkt wirksam, weil die Verfahren schon vorher vorhanden waren oder nicht umsetzbar sind. So wird z. B. nach den technischen Verfahrensannahmen für das Jahr 1999 (vgl. Tabellen im Abschnitt 4.2.1) ein erheblicher Anteil der Gülle im Stall oder in separaten Kellern gelagert. Diese Güllemenge ist von einer Änderung der Lagerungsabdeckung nicht betroffen. Bei der Abdeckung von Güllelagern wird als Standardverfahren das Zeltdach als relativ wartungsfreie, kostengünstige und leicht zu kontrollierende Maßnahme angenommen.

Für die Gülleausbringung wurden verschiedene technische Verfahren ausgewählt, z. B. ein definierter Anteil an Ausbringung mit Güllegrubber auf unbewachsenen Flächen. Bei Schweingülle kommt die Schleppschlauchtechnik zum Einsatz, bei Rindern auf Ackerland wird ebenfalls der Schleppschlauchverteiler als verbesserte Ausbringungstechnik angenommen, auf Grünland das Schleppschuhverfahren. Mit dem Schlitzverfahren auf Grünland wurde nicht gerechnet, da dieses Verfahren nur auf ausreichend tiefgründigen, steinfreien Grünlandböden einsetzbar ist.

Über die Verbreitung dieser Standortbedingung lagen keine ausreichenden Informationen vor. Für Jauche wird keine verbesserte Ausbringungstechnik angenommen, sondern immer eine Ausbringung mit Breitverteiler. Bei Stallmist- und Trockenkotalausbringung ist sofortige Einarbeitung auf unbewachsenen Flächen die einzige Minderungsmaßnahme.

Tab. 5.1: Ammoniak-Minderungsmaßnahmen nach Tierarten und Kategorien

	<b>Kategorie 1</b> <i>mit in der AG Emissionen abgestimmten E-Faktoren versehene Maßnahmen</i>	<b>Kategorie 2</b> <i>Maßnahmen, deren genaue Wirkungen weniger gut erforscht sind, die aber ev. ein hohes Minderungspotential aufweisen</i>
<b>Schweine</b> (Mastschweine und Zuchtsauen)		
Haltung	- Außenklimastall	- Großgruppen
Fütterung	- N-angepasste Fütterung (2-Phasen-Fütterung/ RAM-Futter)	
Lagerung	- Abdeckung des Güllelagers	- Erweiterung der Lagerkapazität
Ausbringung	- Unmittelbare Einarbeitung - Verbesserte Ausbringungstechnik: (Schleppschlauch/ Güllegrubber)	
<b>Rinder</b> (Milchkühe und Mastrinder)		
Haltung		- Rinnenboden mit optimiertem Schiebersystem, "grooved floor" bei Milchvieh
Lagerung	- Abdeckung des Güllelagers	- Erweiterung der Lagerkapazität
Ausbringung	- Unmittelbare Einarbeitung - Verbesserte Ausbringungstechnik (Schleppschlauch/ Güllegrubber/ Schleppschuh)	- verdünnte Gülle auf Grünland
<b>Geflügel</b>		
Haltung	- Kotband mit Trocknung	
Fütterung		- N-angepasste Fütterung
Lagerung		
Ausbringung	- Unmittelbare Einarbeitung	

*Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Basis der Arbeiten der AG "Ökonomie"*

Für Rindergülle wird die in Süddeutschland in der Praxis verbreitete Verdünnung der Gülle mit Wasser für die Ausbringung auf Grünland untersucht. Angenommen wird, dass hierbei nur die Ausbringungsmenge auf Grünland von April bis zum Beginn der Winterperiode verdünnt wird. Die Verdünnung dient einer besseren Infiltration und zur Vermeidung von Narbenschäden durch Abdeckung. Über Winter gelagerte Gülle wird dagegen zu Vegetationsbeginn unverdünnt ausgebracht, danach wird Regenwasser in das Güllelager geleitet. Die Ausbringungskosten erhöhen sich proportional zum Wasseranteil. Bei einer Mischungsverhältnis Wasser : Gülle von 1 : 1 wird eine Ammoniak-Emissionsminderung von 50 %, bei einem Verhältnis von 1 : 2 eine Minderung von 30 % angenommen.

Tab. 5.2: Definition einzelner Ammoniak-Minderungsmaßnahmen für Berechnungen im Modell RAUMIS

<b>Schweine</b>	
1.	<b>S1a: Außenklimastall</b> (Kistenstall) mit und ohne Einstreu: 3% aller Mastschweineplätze
2.	<b>S1b: Großgruppen:</b> 80% aller Mastschweineplätze in Beständen über 600 Tiere
3.	<b>S2a: Angepasste Fütterung (2-Phasen-Fütterung/ RAM-Futter):</b> Mastschweine: 50% aller Mastplätze in Beständen über 600 Tiere (ca. 23% N-Reduzierung); Sauen: gleicher Anteil wie Schweinemast
4.	<b>S2b: Angepasste Fütterung (2-Phasen-Fütterung/ RAM-Futter):</b> Mastschweine: 100% aller Mastplätze in Beständen über 600 Tiere (23% N-Reduzierung); Sauen: gleicher Anteil wie Schweinemast
5.	<b>S3a: Abdeckung des Güllelagers: Zeltdach zu 1)</b> 50% bei Gülleaußenlagerung
6.	<b>S3a: Abdeckung des Güllelagers: Zeltdach zu 2)</b> 100% bei Gülleaußenlagerung
7.	<b>S3b: Erweiterung der Lagerkapazität 1)</b> +2 Monate
8.	<b>S3b: Erweiterung der Lagerkapazität 2)</b> mindestens 9 Monate
9.	<b>S4a: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker zu 1) 50%
10.	<b>S4a: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker zu 2) 90%
11.	<b>S4b: Einsatz verbesserte Gülleausbringungstechnik zu 1)</b> insgesamt 50% der ges. Gülleausbringung: <b>Schleppschlauch</b> , auf unbewachsenem Ackerland auch <b>Güllegrubber</b> (mit 20% der verbesserten Ausbringungsformen auf unbewachsenem Acker)
12.	<b>S4b: Einsatz verbesserte Gülleausbringungstechnik zu 2)</b> insgesamt 90% der ges. Gülleausbringung: <b>Schleppschlauch</b> , auf unbewachsenem Ackerland auch <b>Güllegrubber</b> (mit 20% der verbesserten Ausbringungsformen auf unbewachsenem Acker)
<b>Rinder</b>	
13.	<b>R1: Rostschieber</b> (Rinnenbodenstall, "grooved floor") 50% aller Milchviehplätze in Beständen über 50 Tiere
14.	<b>R3a: Abdeckung des Güllelagers: Zeltdach zu 1)</b> 50% bei Gülleaußenlagerung
15.	<b>R3a: Abdeckung des Güllelagers: Zeltdach zu 2)</b> 100% bei Gülleaußenlagerung
16.	<b>R3b: Erweiterung der Lagerkapazität 1)</b> +2 Monate
17.	<b>R3b: Erweiterung der Lagerkapazität 2)</b> mindestens 8 Monate
18.	<b>R4a: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker 1) 50%
19.	<b>R4a: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker 2) 90%
20.	<b>R4b: Einsatz verbesserter Gülleausbringungstechnik zu 1)</b> insgesamt 50% der ges. Gülleausbringung: <b>Schleppschlauch</b> ; auf unbewachsenem Acker auch <b>Güllegrubber</b> (mit 20% der verbesserten Ausbringungsformen auf unbewachsenem Acker); auf Grünland <b>Schleppschuh</b>
21.	<b>R4b: Einsatz verbesserter Gülleausbringungstechnik zu 2)</b> insgesamt 90% der ges. Gülleausbringung: <b>Schleppschlauch</b> ; auf unbewachsenem Acker auch <b>Güllegrubber</b> (mit 20% der verbesserten Ausbringungsformen auf unbewachsenem Acker); auf Grünland <b>Schleppschuh</b>
22.	<b>R4c: Verdünnte Gülle</b> auf Grünland (1) 50% Wasserzusatz auf Grünland, nicht bei über Winter gelagerter Gülle, Anwendung zu a) 50%
23.	<b>R4c: Verdünnte Gülle</b> auf Grünland (1) 50% Wasserzusatz auf Grünland, nicht bei über Winter gelagerter Gülle, Anwendung zu b) 100%

24.	<b>R4c: Verdünnte Gülle</b> auf Grünland (2) 100% Wasserzusatz auf Grünland, nicht bei über Winter gelagerter Gülle, Anwendung zu a) 50%
25.	<b>R4c: Verdünnte Gülle</b> auf Grünland (2) 100% Wasserzusatz auf Grünland, nicht bei über Winter gelagerter Gülle, Anwendung zu b) 100%
<b>Geflügel</b>	
26.	<b>G1: Kotband mit Trocknung</b> 90% aller Legehennenplätze
27.	<b>G2: N-angepasste Fütterung a)</b> 50% des Geflügels
28.	<b>G2: N-angepasste Fütterung b)</b> 90% des Geflügels
29.	<b>G4: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker a) 50%
30.	<b>G4: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker b) 90%

Verwendete Kürzel: S: Schweine, R: Rinder, G: Geflügel;  
1: Stall, 2: Fütterung, 3: Lagerung, 4: Ausbringung  
Zusammenfassung der Kürzel, z. B. bei Maßnahme Nr. 22 zur Bezeichnung „R4c\_1a“

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Die Kosten wurden auf Grundlage der in Kapitel 3 beschriebenen Eingangsdaten in RAUMIS berechnet. Kostenunterschiede je nach Größe von Maschinen und Anlagen wurden durch die Verknüpfung mit den regionalen Tierbestandsgrößenklassen berücksichtigt. Für Rindergülle wurden die Kosten in Abhängigkeit von der Bestandsgrößenklassenverteilung von Milchvieh im jeweiligen Kreis und bei Schweinegülle in Abhängigkeit von der entsprechenden Klasse der Mastschweine berechnet. Damit wurden die Verfahrenskosten pro Kubikmeter Gülle und Jauche bzw. pro Stallplatz und Jahr in Abhängigkeit von den regionalen Agrarstrukturen berechnet. Die in den Kostenrechnungen verwendeten Werte sind in Tabelle 5.3 dargestellt, und zwar jeweils der niedrigste und der höchste Wert, entsprechend einer Situation mit sehr kleinen bzw. besonders großen Tierbeständen. Stallbaumaßnahmen wurden ohne eine Differenzierung der Kosten nach Größenklassen berechnet. Die Berechnungen erfolgten für einen Zinssatz von 6 % und, da es sich bei RAUMIS um ein Sektormodell handelt, ohne Mehrwertsteuer. Die einzelbetrieblichen Kosten können daher dann, wenn die Mehrwertsteuerabführung des landwirtschaftlichen Betriebes pauschaliert wird, höher als die ausgewiesenen Kosten ausfallen.

Bei den Kosten für die Gülleausbringung ergeben sich aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmethoden leichte Abweichungen von den in Kapitel 3 vorgestellten Einzelrechnungen. Die Einzelrechnungen beruhen auf dem Mittelwert von Berechnungen mit unterschiedlichen Annahmen zu Stundenleistung, Reparaturkosten und Transport für jede Größenklasse. In RAUMIS wurden die Kosten systembedingt aus festen Eingangsdaten vom KTBL (Anschaffungswert, Nutzungsdauer, Reparaturkosten und Stundenleistung) ohne Variation dieser Größen zu einem einzelnen Wert je Größenklasse berechnet. Auf die Berücksichtigung überbetrieblicher Ausbringungsformen, die aufgrund von Größenvorteilen kostenmindernd wirken dürften, wurde bei den Modellrechnungen in RAUMIS verzichtet, weil über deren Verbreitung keine Informationen verfügbar sind.

Da nur wenig Informationen über das aufgrund von Fütterung und Wasserzuflüssen tatsächlich anfallende Güllenvolumen, über die tatsächlichen Transportentfernungen für die Ausbringung und über die Auslastung der technischen Geräte vorliegen, bestehen gerade in Bezug auf die Ausbringung große Unsicherheiten, die zu einer sehr hohen Schwankungsbreite der möglichen Kosten führen. Bei der Interpretation der Ergebnisse sind diese Unsicherheiten über die Höhe

der tatsächlichen Ausbringungskosten zu berücksichtigen.

Die Kosten einer Einarbeitung von Wirtschaftsdünger innerhalb von ca. 4 Stunden nach der Ausbringung sind abweichend von den Annahmen in Kapitel 3 nicht berücksichtigt, da sie nur schwer zu quantifizieren sind. Sie hängen stark von entstehenden Rüst- und Wartezeiten und den Opportunitätskosten für die Arbeitskraft in diesen Zeiten ab. Es wird davon ausgegangen, dass nach einer Wirtschaftsdüngerausbringung auf unbewachsene Flächen in der Regel ohnehin eine Einarbeitung stattfinden würde, nur eventuell zu einem späteren Zeitpunkt. Die Kostenrechnung kann daher nur Verluste berücksichtigen, die durch eine weniger effiziente Erledigung dieses Arbeitsganges entstehen, z. B. durch eventuell entstehende Zeitverluste in Arbeitsspitzen wie der Frühjahrsbestellung; hinzu kommen kann ein Mehraufwand im organisatorischen Bereich. Aufgrund dieses Bewertungsproblems wird in den Berechnungen eine Einarbeitung nach 4 – 5 Stunden angenommen, für die keine Kosten eingestellt werden, da davon auszugehen ist, dass diese sehr niedrig ausfallen. Keine Kosten wurden auch bei der N-angepassten Fütterung bei Sauen und Geflügel und für die Kotbandtrocknung bei Legehennen angerechnet, da hier Informationen zu den tatsächlich anfallenden Kosten fehlen. Bei der Kotbandbelüftung handelt es sich zudem um ein Verfahren, das sich in Zukunft voraussichtlich auch ohne gezielte Ammoniak-Minderungsmaßnahmen ausbreiten wird. Ähnlich ist dies bei der Großgruppenhaltung in der Schweinemast zu sehen, die sich künftig möglicherweise stärker durchsetzen wird. Die Kostenentlastungen durch dieses Verfahren sind daher kursiv hervorgehoben.

Nicht in die Kosten einbezogen wurden mögliche Einsparungen an mineralischem N-Dünger durch die höhere Ammonium-N-Düngung aus Wirtschaftsdüngern. Auch ein stärkerer Einsatz der Wirtschaftsdünger im Frühjahr kann die Stickstoffausnutzung erheblich erhöhen. Welche Auswirkungen dadurch auf den Einsatz von mineralischem N-Dünger zu erwarten sind, wurde in diesem Forschungsvorhaben noch nicht abgeschätzt. Die Kostenwirkungen hängen darüber hinaus vom Preis für mineralischen Stickstoff ab.

Tab. 5.3 Kosten von Ammoniak-Minderungsmaßnahmen für die Berechnungen im Modell RAUMIS bei einem Zinsfuß von 6 % und 20 DM/Arbeitsstunde, Werte ohne Mehrwertsteuer

	Minimale	Maximale
<b>Gülleausbringung</b>	<b>Kosten in DM pro m<sup>3</sup></b>	
Breitverteilung	4,11	9,01
Schleppschlauch	5,39	12,04
Schleppschuh	6,97	16,37
Güllegrubber	8,80	18,26
<b>Güllelagerung</b>	<b>Kosten in DM pro m<sup>3</sup> und Jahr</b>	
Güllelagerabdeckung: Zeltdach	0,85	1,54
Güllelager Neubau	3,98	7,22
<b>Stallneu- und umbau</b>	<b>Kosten in DM pro Stallplatz u. Jahr</b>	
Mehrphasen-Fütterung: Mehrkosten Stallumbau	5,10	5,10
Schweinemast: Großgruppe gegenüber Kleingruppe (Kostenminderung bei Neuinvestition)	-14,70	-14,70
Schweinemast: Mehrkosten Neubau Außenklimastall	8,48	8,48
Milchviehstall: Mehrkosten Rinnenboden-Gülsystem	61,03	61,03

*Aufgrund von Skaleneffekten entstehen minimale Kosten in großen Tierbeständen, maximale Kosten in kleinen Bestandsgrößen; Quelle: RAUMIS, Stand Februar 2001*

## **5.2 Ergebnisse des Vergleichs von Maßnahmen zur Emissionsminderung auf sektoraler Ebene anhand von Ergebnissen des Modells RAUMIS**

In diesem Abschnitt werden Minderungspotentiale und die Kostenwirksamkeit der ausgewählten Minderungsmaßnahmen vorgestellt. Um die Zusammenhänge innerhalb der Wirtschaftsdünger-kette vollständig abzubilden, wurden alle Einzelmaßnahmen jeweils durch eine separate Modellsimulation für das Jahr 1999 abgebildet. Dadurch werden z. B. die Wirkungen eines veränderten N-Gehalts in der Gülle auf die Lagerungs- und Ausbringungsverluste berücksichtigt.

Das Minderungspotential einer Maßnahme, ausgedrückt in Tonnen oder in Prozent Ammoniak-Emissionsminderung auf Basis der Ausgangssituation 1999, hängt zunächst von der Bedeutung des technischen Bereichs ab, auf den die Maßnahme Einfluß nimmt. Da die Ausbringung von Rinderdung den bedeutendsten Emissionsbereich darstellt, liegen hier auch große Minderungspotentiale. Ein anderer, die Höhe des Potentials bestimmender Aspekt ist die Wirksamkeit der Emissionsminderungsmaßnahme. Die Wirksamkeit liegt z. B. bei N-reduzierter Fütterung im Vergleich zu anderen Maßnahmen sehr hoch, da die Emissionen auf allen technischen Stufen (Stall, Lagerung, Ausbringung) durch einen verminderten N-Ausstoß verringert werden.

Ein weiteres Merkmal, das die Höhe des Minderungspotentials beeinflusst, ist die bereits in der Ausgangssituation bestehende Verbreitung der entsprechenden Minderungsmaßnahme. Technische Verfahren führen nur dort zu einer Reduzierung der Emissionen, wo das betreffende Verfahren vorher noch nicht oder nicht in dem definierten Umfang realisiert wurde. Über die Verbreitung der Verfahren wurden durch die Modellregionsbefragung und die Übertragung der Befragungsergebnisse Annahmen getroffen, welche in die Abschätzung der Minderungspotentiale einfließen (vgl. Tabellen im Kapitel 4.2.1). Wurde bei den Befragungen für die Technologie im Jahr 2000 eine besonders optimistische Annahme getroffen, wie dies offenbar für die N-angepasste Fütterung von Mastschweinen der Fall ist, resultiert aus der Annahme einer niedrigeren Umsetzungsrate im Modell eine Erhöhung der Ammoniak-Emissionen. Dies ist bei den Szenarien S2a und S2b zur N-angepassten Fütterung bei Schweinen der Fall. Auch die Annahmen zur unmittelbaren Einarbeitung sind relativ optimistisch, weshalb die Szenarien S4a\_1, R4a\_1 und G4a mit einer geringeren Einarbeitungsrate zu höheren Emissionen führen.

Umgekehrt kann ein Minderungspotential überschätzt werden, wenn im Basisjahr 1999 keine Annahmen zum Umfang des Verfahrens in der Ausgangssituation getroffen wurden. Dies ist bei den folgenden Maßnahmen der Fall: R4c\_1a bis R4c\_2b: Verdünnte Rindergülle sowie G2a und G2b: N-angepasste Fütterung von Geflügel. Bei diesen Maßnahmen liegt bereits im Basisjahr 1999 eine Umsetzung in der Praxis vor, es standen aber keine genauen Zahlen über die realisierten Umfänge zur Verfügung. Die Einführung dieser Maßnahmen im Modell zeigt also ein theoretisches Minderungspotential gegenüber der Referenzsituation ohne diese Verfahren. Bei Großgruppen in der Mastschweinehaltung und dem Rinnenbodensystem („grooved floor“) bei Milchvieh kann davon ausgegangen werden, dass es sich tatsächlich um neue Techniken handelt, die im Jahr 1999 nicht verbreitet waren. Für alle anderen Maßnahmen (Fütterung Mastschweine, Außenklimastall, Lagerung und Lagerkapazitäten, Ausbringung, Einarbeitung) wurden die Annahmen für das Jahr 1999 aus der Modellregionsbefragung als Referenzsystem definiert

Die Kostenwirksamkeit einer Maßnahme stellt die hierdurch erzielbare Reduzierung der Ammoniak-Emission in Relation zu den dabei im Vergleich zur Ausgangssituation entstehenden Mehrkosten dar, bezogen auf das Kilo reduziertes Ammoniak. Der Vergleich der Kostenwirksamkeit von Maßnahmen gibt Hinweise für kostenminimale Anpassungsmaßnahmen zur Emis-

sionsminderung. Soweit es sich um Maßnahmen handelt, die schon in der Ausgangssituation umgesetzt wurden, werden die Kosten für die Umsetzung bei 50 % und bei 90 bzw. 100 % verglichen (Paarvergleiche).

Zu bedenken ist, dass in diesem Schritt alle Maßnahmen separat berechnet wurden und eine Summierung der einzelnen Wirkungen nicht möglich ist. Die Kostenwirksamkeit hängt von den angenommenen Rahmenbedingungen und dem Zusammenwirken der Einzelmaßnahmen ab. So kann sich die Kostenwirksamkeit einer verbesserten Ausbringungstechnik für Schweingülle bei Anwendung N-angepasster Fütterung verschlechtern, da zur Ausbringung eine geringere Menge emissionsgefährdeter Ammoniak anfällt. Die Erweiterung der Lagerkapazität kann ebenfalls die Kostenwirksamkeit der Ausbringungstechniken verschlechtern, da sie eine Verlagerung der Ausbringung in Zeiten ermöglicht, in denen temperaturbedingt ohnehin weniger Emissionen entstehen. Eine verbesserte Stallhaltung und eine Abdeckung des Lagers kann dagegen die Wirksamkeit besserer Ausbringungstechniken erhöhen, da mehr Ammoniak-Stickstoff bis zur Ausbringungsstufe im Wirtschaftsdünger erhalten bleibt, dessen Emission durch die verbesserte Ausbringungstechnik verhindert wird. Eine Berücksichtigung der kumulierten Wirkungen von Maßnahmen ist daher nur in entsprechenden, mehrere Maßnahmen umfassenden Modellrechnungen möglich.

Die Ergebnisse der Berechnungen von Einzelmaßnahmen sind in den Tabellen 5.4 und 5.5 dargestellt. Tabelle 5.5 enthält eine Sortierung der Rangfolgen für die Minderungspotentiale auf Basis der Referenzsituation im Jahr 1999 sowie der Kostenwirksamkeit der Ammoniak-Emissionsminderung. Zur Bewertung der Maßnahmen müssen sowohl das Potential als auch die Kostenwirksamkeit betrachtet werden.

Der bedeutendste einzelne Emissionsbereich ist die Ausbringung von Rinderdung. Entsprechend hoch fallen hier auch die Minderungspotentiale gegenüber der Referenzsituation 1999 aus. Die Kosten steigen aber von der sehr günstigen, unmittelbaren Einarbeitung über den Einsatz verdünnter Gülle auf Grünland im Sommerhalbjahr bis zum Einsatz verbesserter Gülleausbringungstechnik stark an. Eine Erweiterung der Lagerkapazität für Rindergülle auf mindestens 8 Monate ermöglicht durch die Verlagerung der Ausbringung vom Sommer ins Frühjahr erhebliche Emissionsminderungen, die allerdings mit über 15 DM pro kg reduzierte Ammoniak-Emission teuer erkaufte werden. Bedacht werden muss hierbei, dass eine Ausbringung im Frühjahr auch zur besseren Verwertung der Nährstoffe beiträgt und somit auch Zielen des Wasserschutzes dient. Die entstehenden Kosten wären somit nicht nur einer Ammoniak-bezogenen Politik anzulasten. Eine Abdeckung aller Rindergüllelager (R3a\_2) würde nur eine geringe Verminderung der Emissionen nach sich ziehen. Mit 15 DM pro kg reduzierte Ammoniak-Emission ist diese Maßnahme relativ teuer, da Rindergülle im Lager durch die Schwimmdeckenbildung keine hohen Emissionen verursacht.

Die Einführung von Rinnenboden-Ställen in großen Milchviehbeständen erscheint als Maßnahme mit einer hohen Kostenwirksamkeit, die der verbesserten Ausbringungstechnik vergleichbar ist. Zu bedenken ist, dass diese Maßnahme der Kategorie 2 angehört. Sie wurde mit einem Minderungsfaktor von 50 % der Stallemissionen berechnet, der an Obergrenze der in der Literatur angegebenen Werte liegt (vgl. Kapitel 3.1.1). Würde mit 35 % Emissionsminderung gerechnet, läge das Minderungspotential um 30 % niedriger, die Kosten würden ca. 17,40 DM pro kg reduzierte Ammoniakemission betragen.

Bei Schweinen gehört die Abdeckung der Gülleaußenlager zu den effizientesten Maßnahmen zur Emissionsreduzierung. Die Lagerabdeckung weist ein hohes Minderungspotential bei sehr geringen Kosten auf. Für die N-angepasste Fütterung ist der in der Referenzsituation realisierte

Umfang nicht ausreichend bekannt, um eine Aussage über das genaue Minderungspotential dieser Maßnahme treffen zu können. Der Paarvergleich zwischen S2a und S2b in Tabelle 5.4 zeigt aber, dass eine stärkere Verbreitung der N-angepassten Fütterung von 50 auf 100 % aller Mastschweine in großen Beständen erhebliche Wirkungen auf die Emissionshöhe hätte. Auch wenn für die Umsetzung dieses Fütterungsverfahrens Kosten für den Stallumbau angesetzt werden, handelt es sich um eine Minderungsmaßnahme mit hoher Kostenwirksamkeit.

Das Minderungspotential einer Erweiterung der Lagerkapazität für Schweinegülle auf mindestens 9 Monate sowie Maßnahmen bei der Schweinegülleausbringung liegen deutlich unter den Wirkungen der Lagerabdeckung. Die Kostenwirksamkeit dieser Maßnahmen fällt verglichen mit den entsprechenden Maßnahmen bei Rindergülle ungünstiger aus. Eine durch höhere Lagerkapazitäten ermöglichte Verlagerung der Gülleausbringung ins Frühjahr hat weniger Auswirkungen auf die Ammoniakemissionen, da Gülle im Frühjahr vermehrt auf bewachsene Flächen ohne Einarbeitungsmöglichkeit ausgebracht wird, während im Sommer ausreichend Stoppelflächen zur Einarbeitung zur Verfügung stehen. Da bei der Ausbringung von Schweinegülle im Verhältnis zu Stall und Lagerung weniger Emissionen auftreten, erzielen verbesserte Ausbringungstechniken bei Schweinegülle geringere Wirkungen, die Kostenwirksamkeit ist entsprechend etwas geringer als bei Rindergülle. Die unmittelbare Einarbeitung von Schweinegülle weist ein hohes Minderungspotential auf.

Außenklimaställe für Schweine können eine höhere Kostenwirksamkeit bei der Emissionsminderung erreichen als die verbesserte Ausbringungstechnik. Ohne veränderte politische Vorgaben, z. B. im Tierschutz, ist aber nicht mit einer stärkeren Ausbreitung dieser Haltungsform zu rechnen. Großgruppenhaltung bei Schweinen ist eine Maßnahme aus Kategorie 2; über die Wirkungen dieser Maßnahme ist daher keine genaue Aussage möglich. Allerdings deutet sich an, dass hierdurch keine hohen Emissionsminderungen zu erwarten sind. Der Kostenvorteil gegenüber kleineren Mastgruppen spricht dafür, dass sich dieses Verfahren in Zukunft ohnehin stärker ausbreiten wird. Kostenentlastungen durch die Einführung von Großgruppen werden daher im folgenden nicht als Entlastung in die Kostenberechnung von Emissionsminderungsmaßnahmen einbezogen.

In der Geflügelhaltung sind mit einer stärkeren Verbreitung N-angepasster Fütterung und einer unmittelbaren Einarbeitung nach der Korausbringung hohe Minderungspotentiale zu erreichen. Bei der Fütterung ist aber davon auszugehen, dass ein Teil dieses Potentials bereits durch verbesserte Fütterungstechniken ausgeschöpft ist. Das erstaunlich hohe Minderungspotential einer Koteinarbeitung ist darauf zurückzuführen, dass ohne eine Einarbeitung nach Wiederbefeuchtung sehr hohe Stickstoff-Mengen entweichen können, weil der N-Gehalt des Kotes sehr hoch ist und während der Trockenkotlegerung kaum Verluste auftreten. Weiterhin wurde in der modellgestützten Schätzung der Trockenkotverteilung angenommen, dass unbewachsene Flächen bei der Ausbringung stark bevorzugt werden. Der größte Teil der ausbrachten Menge kann folglich eingearbeitet werden. Dies ist bei Rindergülle, die verstärkt auf Grünland verteilt wird, und bei Schweinegülle, die zu einem erheblichen Teil auf bewachsene Ackerflächen ausgebracht wird, nicht in diesem Maße der Fall. Durch die Umstellung auf Haltungssysteme mit Kotbandbelüftung lassen sich die Emissionen aus der Tierhaltung, gemessen an der Bedeutung des Geflügels für die gesamten Emissionen, deutlich verringern. Kosten wurden im Geflügelbereich nicht berechnet.

Als besonders geeignete, technische Ansatzstellen für die Ammoniak-Emissionsminderung sind bei Rindern die Dungausringung und die Güllelagerkapazität zu nennen, bei Schweinen die Lagerabdeckung, die N-angepasste Fütterung und danach auch die Ausbringung. Bei Geflügel



sind es vor allem die Fütterung und Kottrocknung. Bei allen Tierarten stellt die unverzügliche Dungeinarbeitung nach der Ausbringung eine wirksame und kostengünstige Maßnahme dar.

Tab. 5.4: Minderungspotential und Kostenwirksamkeit ausgewählter Ammoniakminderungsmaßnahmen, verglichen mit der Ausgangssituation 1999

			Differenz zu Ausgangssituation		Kosten	Paarvergleiche: Differenz zu Vergleichsszenario			Kosten
Nr.	Kürzel	Beschreibung	in t NH <sub>3</sub> im Jahr	%	DM/kg NH <sub>3</sub>	Vergl. mit	in t NH <sub>3</sub> im Jahr	%	DM/kg NH <sub>3</sub>
Schweine									
1.	S1a:	Außenklimastall	-404	-0,1	10,4				
2.	S1b:	Großgruppen	-1472	-0,3	(-45,2)				
3.	S2a:	Angepasste Fütterung	8149	1,8					
4.	S2b:	Angepasste Fütterung	907	0,2		S2a	-7242	-1,5	2,7
5.	S3a_1:	Abdeckung Güllelager	-2352	-0,5					
6.	S3a_2:	Abdeckung Güllelager	-9524	-2,0		S3a_1	-7172	-1,5	0,9
7.	S3b_1:	Erweiterung Lagerkap.	-2731	-0,6					
8.	S3b_2:	Erweiterung Lagerkap.	-3341	-0,7		S3b_1	-610	-0,1	16,5
9.	S4a_1:	unmittelbare Einarbeitung	459	0,1					
10.	S4a_2:	unmittelbare Einarbeitung	-4748	-1,0		S4a_1	-5207	-1,1	
11.	S4b_1:	Gülleausbringungstechnik	-1335	-0,3					
12.	S4b_2:	Gülleausbringungstechnik	-4449	-1,0		S4b_2	-3115	-0,7	13,6
Rinder									
13.	R1:	„grooved floor“	-5502	-1,2	12,2				
14.	R3a_1:	Abdeckung Güllelager	-1035	-0,2					
15.	R3a_2:	Abdeckung Güllelager	-3037	-0,7		R3a_1	-2002	-0,4	15,0
16.	R3b_1:	Erweiterung Lagerkap.	-13674	-2,9					
17.	R3b_2:	Erweiterung Lagerkap.	-17611	-3,8		R3b_1	-3937	-0,9	15,4
18.	R4a_1:	unmittelbare Einarbeitung	-98	0,0					
19.	R4a_2:	unmittelbare Einarbeitung	-21766	-4,7		R4a_1	-21668	-4,7	
20.	R4b_1:	Gülleausbringungstechnik	-15904	-3,4					
21.	R4b_2:	Gülleausbringungstechnik	-33398	-7,2		R4b_1	-17494	-3,9	12,2
22.	R4c_1a:	Verdünnte Gülle	-5090	-1,1	7,5				
23.	R4c_1b:	Verdünnte Gülle	-10179	-2,2	7,5	R4c_1a	-5089	-1,1	7,5
24.	R4c_2a:	Verdünnte Gülle	-8483	-1,8	9,0				
25.	R4c_2b:	Verdünnte Gülle	-16966	-3,6	9,0	R4c_2a	-8483	-1,9	9,0
Geflügel									
26.	G1:	Kotband mit Trocknung	-1637	-0,4					
27.	G2a:	N-angepasste Fütterung	-4838	-1,0					
28.	G2b:	N-angepasste Fütterung	-8699	-1,9					
29.	G4a:	unmittelbare Einarbeitung	3107	0,7					
30.	G4b:	unmittelbare Einarbeitung	-5323	-1,1					

Quelle: Berechnungen mit dem Modell RAUMIS für die Situation 1999, Stand Februar 2001; Kosten bei einem Zinsfuß von 6 % und 20 DM/Arbeitsstunde, Werte ohne Mehrwertsteuer

Tab. 5.5: Rangfolgen der Minderungspotentiale und der Kostenwirksamkeit ausgewählter Ammoniak-Minderungsmaßnahmen

Rangfolge Minderungspotential			Rangfolge Kosten		
Kürzel	Beschreibung	in t NH <sub>3</sub> im Jahr	Kürzel	Beschreibung	DM/kg NH <sub>3</sub>
R4b_2:	Gülleausbringungstechnik	-33398	S1b:	Großgruppen	(-45,2)
R4a_2:	unmittelbare Einarbeitung	-21766	S3a:	Abdeckung des Güllelagers	0,9
R3b_2:	Erweiterung der Lagerkap.	-17611	S2b:	Angepasste Fütterung	2,7
R4c_2b:	Verdünnte Gülle	-16966	R4c_1:	Verdünnte Gülle	7,5
R4b_1:	Gülleausbringungstechnik	-15904	R4c_2:	Verdünnte Gülle	9,0
R3b_1:	Erweiterung der Lagerkap.	-13674	S1a:	Außenklimastall	10,4
R4c_1b:	Verdünnte Gülle	-10179	R4b:	Gülleausbringungstechnik	12,2
S3a_2:	Abdeckung des Güllelagers	-9524	R1:	grooved floor	12,2
G2b:	N-angepasste Fütterung	-8699	S4b:	Gülleausbringungstechnik	13,6
R4c_2a:	Verdünnte Gülle	-8483	R3a:	Abdeckung des Güllelagers	15,0
R1:	grooved floor	-5502	R3b:	Erweiterung der Lagerkap.	15,4
G4b:	unmittelbare Einarbeitung	-5323	S3b:	Erweiterung der Lagerkap.	16,5
R4c_1a:	Verdünnte Gülle	-5090			
G2a:	N-angepasste Fütterung	-4838			
S4a_2:	unmittelbare Einarbeitung	-4748			
S4b_2:	Gülleausbringungstechnik	-4449			
S3b_2:	Erweiterung der Lagerkap.	-3341			
R3a_2:	Abdeckung des Güllelagers	-3037			
S3b_1:	Erweiterung der Lagerkap.	-2731			
S3a_1:	Abdeckung des Güllelagers	-2352			
G1:	Kotband mit Trocknung	-1637			
S1b:	Großgruppen	-1472			
S4b_1:	Gülleausbringungstechnik	-1335			
R3a_1:	Abdeckung des Güllelagers	-1035			
S1a:	Außenklimastall	-404			

Die folgenden Maßnahmen führen gegenüber der Ausgangssituation 1999 zu keiner relevanten Emissionsminderung oder (weil im Basisjahr eine höhere Umsetzungsrate angenommen wurde) zu einer Erhöhung der Emissionen: S2a: Angepasste Fütterung S2b: Angepasste Fütterung; S4a\_1: unmittelbare Einarbeitung; R4a\_1: unmittelbare Einarbeitung; G4a: unmittelbare Einarbeitung

*Quelle: Berechnungen mit dem Modell RAUMIS für die Situation 1999, Stand Februar 2001; Kosten bei einem Zinsfuß von 6 % und 20 DM/Arbeitsstunde, Werte ohne Mehrwertsteuer*

### 5.3 Einzelbetriebliches Beispiel für Minderungspotentiale und Kosten bei Umsetzung unterschiedlicher Maßnahmen

Als Beispiel für die Anpassungsmöglichkeiten eines Einzelbetriebes auf die Forderung nach einer Reduktion der Ammoniak-Emissionen werden in diesem Kapitel Berechnungen mit den im Kapitel 3 dargestellten Emissionsfaktoren und den Kosten für Minderungsoptionen beschrieben. Ausgewählt wurde ein Schweinemastbetrieb mit 1000 Mastplätzen. Gewählt wurde diese Betriebsgröße, weil bisher in Genehmigungsverfahren und auch mit der zukünftigen Umsetzung des UN/ECE-Protokolls (vgl. Kap. 1) vor allem an Großbetriebe erhöhte Anforderungen hinsichtlich der Emissionsminderung gestellt werden.

Im Gegensatz zu den auf einzelne Maßnahmen bezogenen Berechnungen in Abschnitt 5.2 werden hier Szenariorechnungen durchgeführt, die mehrere Maßnahmen im gesamten "Lebensweg" von der Fütterung bis zum Verbleib des Ammoniak-N im Boden umfassen. Anhand dieses einzelbetrieblichen Beispiels werden also mögliche, kumulierte Wirkungen von Maßnahmen zur Emissionsminderung sowie deren dargestellt. Die folgenden Annahmen für Szenarien wurden getroffen.

**Szenario 1:** (Basisszenario, gibt die Ausgangssituation vor Inkrafttreten der Düngeverordnung wieder)

**Stall:** vollklimatisiert, Vollspaltenboden, zwangsbelüftet, Kleingruppe 12 Tiere, konventionelle, nicht proteinangepasste Fütterung, Ausscheidung 13 kg N pro Mastplatz und Jahr (EF = 3,0 kg MP und Jahr)

**Lagerung:** Güllerundbehälter, Lagerkapazität 7 Monate, keine Schwimmdecke (EF = 15 % des N)

**Ausbringung:** Breitverteiler, 40% der Gülle im Sommer auf Strohstoppel ohne Einarbeitung, 30 % im Frühjahr und im Herbst auf unbewachsenes Ackerland bei 15°C, 30 % im Frühjahr und Herbst auf wachsende Bestände bei 5°C (gem. EF = 40 % des NH<sub>4</sub>-N)

**Szenario 2a:** wie 1, aber

**Ausbringung:** 20% der Gülle im Sommer auf Strohstoppel mit Einarbeitung, 30 % im Frühjahr und im Herbst auf unbewachsenes Ackerland mit sof. Einarbeitung, 50 % im Frühjahr und Herbst auf wachsende Bestände bei 10°C (gem. EF = 14 % des NH<sub>4</sub>-N)

**Szenario 2b:** wie 2a, aber

**Ausbringung:** 50 % im Frühjahr und Herbst auf wachsende Bestände mit Schleppschlauchverteiler bei 10°C (gem. EF = 11 % des NH<sub>4</sub>-N)

**Szenario 3a:** wie 2b, aber

**Lagerung:** Abdeckung mit Strohhäcksel (Minderung der Emissionen um 70%)

**Szenario 3b:** wie 2b, aber

**Lagerung:** Abdeckung mit Zeltdach (Minderung der Emissionen um 90%)

**Szenario 4:** wie 3b, aber

**Stall:** N-angepasste Fütterung (Ausscheidung statt 13 kg 11 kg pro Mastplatz)

Bei der Auswahl der Szenarien wurden sowohl kurzfristig (Änderung der Ausbringungszeit, unverzügliche Einarbeitung) bis mittelfristig realisierbare (Ersatz Breitverteiler durch Schleppschlauchtechnik, Behälterabdeckung) als auch nur langfristig realisierbare Anpassungsmöglichkeiten berücksichtigt (Fütterungstechnik zur Anpassung der Proteinversorgung). Als Basis-szenario wurde die Ausgangssituation 1990 gewählt, also bevor die Düngeverordnung mit dem Gebot der Einarbeitung von flüssigen Wirtschaftsdüngern in Kraft getreten war.

Tab. 5.6: Emissionsminderung und deren Kosten für einen Mastschweinestall mit 1000 Plätzen

<b>Emissionen und Kosten der Emissionsminderung</b>		<b>(Basis-) Szenario 1</b>	<b>Szen. 2a</b>	<b>Szen. 2b</b>	<b>Szen. 3a</b>	<b>Szen. 3b</b>	<b>Szen. 4</b>
Stall	(kg N*MP <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> )	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,31
Lagerbeh.	(kg N*MP <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> )	1,51	1,51	1,51	0,45	0,15	0,12
Ausbringung	(kg N*MP <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> )	1,82	0,64	0,5	0,62	0,65	0,51
Gesamt	(kg N*MP <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> )	6,33	5,15	5,01	4,07	3,80	2,94
Differ. Zu Basis-Szenario 1							
	(kg N* MP <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> )		1,18	1,32	2,29	2,35	3,39
	(%)		- 19	- 21	- 36	- 40	- 54
Kosten	(DM* MP <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> )		1,13	3,53	4,28	5,03	11,03
Kosten	(DM*kgN <sup>-1</sup> )		0,96	2,67	1,87	1,99	3,25
Kosten	(DM*kgNH <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )		0,79	2,20	1,54	1,76	2,68

Die Kosten der Maßnahmen wurden - wie in der Tabelle 5.6 dargestellt - als Gesamtkosten für den "Lebensweg", diese wiederum als spezifische Emissionsminderungskosten in DM pro kg Ammoniak angegeben. Somit wurden die Kosten von günstigen (z.B. Einarbeitung) und teuren Minderungsoptionen gemittelt. Eine Umwandlung von 10 % des organisch gebundenen Güllestickstoffs in Ammonium während der Lagerung wurde in die Kalkulation einbezogen.

Die Ergebnisse in der Tabelle 5.6 zeigen, dass bereits mit einer Änderung des Gülleapplikationsmanagements die Verluste von Ammoniak um ca. 20 % gemindert werden können, bei Einarbeitungskosten von 1,50 DM/m<sup>3</sup> - berechnet wurden nur Teilkosten für die Einarbeitung, da eine Bearbeitung des Bodens ohnehin erforderlich ist - entspricht dies nur ca. 0,79 DM pro kg Ammoniak (Szenario 2a). Ein zusätzlicher Einsatz des Schleppschlauchverteilers in wachsende Bestände bringt dagegen nur geringe zusätzliche Effekte, dementsprechend erhöhen sich die spezifischen Minderungskosten fast um das dreifache (Szenario 2b).

Eine sehr kosteneffiziente Maßnahme ist die Kombination von optimierter Ausbringung mit der Abdeckung des Güllebehälters mit Strohhäcksel (Szenario 3a), auch wenn mit einer geringeren Emissionsminderung kalkuliert wird (70 %) als in der Literatur belegt wurde. Obwohl also in Variante 3a mit dem Einsatz des kostenintensiven Schleppschlauchverteilers gerechnet wurde, vermindern sich - bedingt durch die Effizienz der Strohhäckselabdeckung - die durchschnittlichen Emissionsminderungskosten erheblich. Diese steigen dagegen deutlich an (von 1,54 auf

1,76 DM pro kg Ammoniak), wenn die zwar wirksamere, aber weniger kosteneffiziente Variante Zeltdach gewählt wird. Kennzeichnend ist, dass bereits durch die Kombination von Maßnahmen zur Abdeckung des Lagerbehälters und optimiertem Ausbringungsmanagements die Ammoniak-Emissionen um bis zu 40 % reduziert werden können.

Eine weitere Minderung ist durch die zusätzliche Einführung von Maßnahmen im Stall möglich. Als langfristig umsetzbare Maßnahme wurde im einzelbetrieblichen Beispiel der Einbau von Fütterungstechnik gewählt, die eine Phasenfütterung erlaubt. Dies unter der Voraussetzung, dass ohnehin ein Ersatz der vorhandenen Fütterungstechnik erforderlich ist. Durch diese Maßnahme können die Verluste auf unter 50 % begrenzt werden.

Das einzelbetriebliche Beispiel eines großen Mastschweinestalles zeigt, dass hier bei dieser Betriebsgröße eine höchst kosteneffiziente Option zur Emissionsminderung besteht. Die durchschnittlichen Kosten betragen nur ca. 1 DM pro produziertem Mastschwein. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass das vorgestellte Beispiel eine Optimalsituation darstellt, die in der Praxis zwar anzutreffen ist, nicht aber auf andere Betriebsgrößen, andere Tierarten, Produktionsverfahren oder ein anderes Basisszenario (hier: vor Inkrafttreten der DüngeV0!) übertragen werden kann.

## **6 Projektionen für das Jahr 2010**

### **6.1 Darstellung der Annahmen für die Projektion**

#### **6.1.1 Prognose der Tierbestandszahlen und der Tierbestandsklassen**

Entscheidend für die künftige Entwicklung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der Tierhaltung ist die Entwicklung der Tierzahlen. Diese wird durch die Produktivitätsentwicklung (z.B. Milchleistung pro Kuh) und die Entwicklung von Agrarpolitik und Märkten für Agrarprodukte bestimmt. Da die Abschätzung der Verfahrensumfänge in der Stallhaltung und die Projektion des technologischen Wandels auf die Tierbestandsgrößenklassen aufbaut, sind weiterhin Annahmen zur erwarteten Bestandsgrößenentwicklung zu treffen. Weil  $\text{NH}_3$ -Emissionen zu regionalen Belastungen führen, war schließlich die Frage nach der Entwicklung der regionalen Konzentration in der Tierhaltung zu beantworten. Die in der Arbeitsgruppe "Agrarstruktur und ökonomische Bewertung" abgestimmten Annahmen zu diesen Fragen und die erwarteten Produktionsumfänge für das Zieljahr 2010 sind im folgenden dargestellt. Weitere Annahmen, die in der Arbeitsgruppe diskutiert wurden, betreffen die agrarpolitischen und ökonomischen Rahmenbedingungen für Projektionsrechnungen sowie die anzunehmenden Wahrscheinlichkeiten, mit denen sich emissionsmindernde Verfahren künftig unter Status Quo-Bedingungen oder mit Fördermaßnahmen verbreiten könnten. Die Annahmen aus der Arbeitsgruppe wurden für die modellgestützten Projektionen verwendet.

Für Projektionen wird zunächst ein Basisszenario ("Baseline") für das Jahr 2010 definiert, auf das weitere Szenarien mit Maßnahmen zur Emissionsminderung aufbauen. Entscheidend für die Baseline-Projektion ist die Entwicklung der Rahmenbedingungen, die vor allem durch folgende Bereiche bestimmt werden:

- Weiterentwicklung der EU-Agrarpolitik sowie der Bundes- und Länderpolitik (Unsicherheitsfaktoren: EU-Osterweiterung, WTO-Verhandlungen, Zukunft der Milchquote)
- Entwicklung der Märkte für Agrarprodukte
- Technischer Fortschritt und Produktivitätsentwicklung

Aufgrund der Unsicherheit künftiger Entwicklungen werden für die Baseline die Agenda 2000-Beschlüsse als Status Quo bis zum Jahr 2010 fortgeschrieben werden, und zwar mit den Annahmen, wie sie in Berechnungen für das BMVEL im Rahmen der Wirkungsabschätzungen zur Agenda 2000 für die Annahme einer optimistischen Preisentwicklung genutzt wurden (Kleinhans et al. 1999). Die Milchquote bleibt diesen Annahmen zufolge bis 2010 bestehen und wird laut Agenda 2000 - Beschluss um 1,5 % aufgestockt. Eine veränderte Politik bezüglich der Milchquote hätte große Unsicherheiten bezüglich der Anzahl von Milchkühen und der künftigen, räumlichen Verteilung der Milchproduktion zur Folge.

Für die im Jahr 2010 zu erwartenden Tierzahlen werden zwei unterschiedliche Projektionen verwendet, eine mit höheren Tierzahlen im Zieljahr 2010 und eine mit niedrigeren Zahlen ("2010max", "2010min"). Sowohl für die Tierbestandszahlen als auch für die Bestandsgrößenklassen wurden zunächst die vorliegenden Statistiken zur Abschätzung von Trends analysiert (vgl. die Abbildungen in Anhang S. 36 A ff). Zum Zeitpunkt dieser Analysen lagen noch keine Auswertungen der Viehzählung 1999 vor. Nach einem starken Einbruch der Tierbestände in den neuen Ländern zeichnet sich bei allen Tierarten eine Stabilisierung auf deutlich niedrigerem Niveau und eine Angleichung an den Trend in den alten Ländern ab.

Entscheidend für die Entwicklung der Rinderbestände sind neben der Milchleistungsentwicklung die Beibehaltung und die Höhe der Milchquote sowie die Plafonds für die Tierprämien für Mutterkühen und Mastbullen. Die Milchleistungsentwicklung von 1990 bis 2010 wird in der Projektion 2010max mit einer durchschnittlichen, jährlichen Wachstumsrate von 2,28 % angenommen, in der Projektion 2010min wird von 2,54 % ausgegangen. Die Leistungszuwächse liegen dabei in den neuen Ländern erheblich höher und erreichen im Zieljahr 2010 das Leistungsniveau in Nordwestdeutschland (Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen). Je höher die Milchleistungssteigerung liegt, umso stärker wird bei konstanter Milchquote der Milchviehbestand abgebaut. Durch die verringerte Anzahl an Muttertieren kommt es in der Folge auch zu geringeren Beständen bei Kälbern, Färsen und Bullen. Die Plafonds für Mutterkühe werden laut Agenda 2000 auf ca. 640.000 Tiere aufgestockt. Von diesen Prämien kann aber ein Anteil von bis zu 20 % für Nachzuchtfärsen in Anspruch genommen werden. Daher besteht eine Unsicherheit über den Umfang der künftigen Mutterkuhhaltung. In den Projektionen wurde die Mutterkuhhaltung einheitlich mit der Anzahl aus dem aktuellsten Jahr 1999 fortgeschrieben, die noch über dem Plafond von 640.000 Tieren lag. Aufgrund der in diesem Fall gestiegenen Zahl an Muttertieren, die sich auf die Viehzählungsergebnisse von 1999 gründet, wird der Rinderbestand im Zieljahr 2010 insgesamt etwas höher eingeschätzt als zuvor in der Arbeitsgruppe diskutiert (vgl. Tabelle 6.1 und 6.2).

Auch für die anderen Tierarten wurden die Zahlen für 1999 für die Erstellung der Projektionen einbezogen. Dadurch ergeben sich Tierbestände, die z. T. leicht von den in der Arbeitsgruppe abgestimmten Werten abweichen. Eine erhebliche Abweichung findet sich bei Schafen, deren Bestände im Jahr 1999 aufgrund einer Trendumkehr in der Bestandsentwicklung deutlich höher lagen als erwartet. Daher wurde der Bestand von 1999 einheitlich fortgeschrieben. Bei Geflügel ist eine Stagnation der Legehennenbestände zu erwarten, bei Mastgeflügel (Masthähnchen, Puten) eine deutliche Ausweitung. Die Legehennenverordnung mit dem Verbot der Käfighaltung ab dem Jahr 2012 wird ggf. zu einem Rückgang der Legehennenbestände führen; für die Baseline-Projektion wird eine solche, mögliche Entwicklung jedoch nicht berücksichtigt.

Die Tierbestandsgrößenentwicklung bei Milchvieh, Sauen und Mastschweinen wurden in Höhe der in den letzten Jahren zu beobachtenden Werte festgelegt (vgl. Tabellen 6.3 bis 6.5). Die aktuellsten Werte, aus denen die Annahmen abgeleitet wurden, sind in den Tabellen fett hervorgehoben. Für Milchvieh wurden einheitliche Wachstumsraten für alle alten Länder geschätzt, bei Schweinen wurden die alten Länder in drei Regionen geteilt. In den neuen Ländern wird keine relevante Bestandsgrößenveränderung erwartet, und auch bei Geflügel wird kein entscheidender Bestandsgrößenwandel angenommen.

Die technischen Annahmen für die Projektionen bezüglich der Stall- und Weidehaltung, Wirtschaftsdüngerlagerung und Ausbringung, basierend auf den Befragungen in Modellregionen, wurden bereits in den Tabellen 4.4 und 4.5 in Kapitel 4 dargestellt. Die befragten Experten gingen dabei von zum Teil erheblichen Veränderungen in der Zusammensetzung der Technologien aus. So steigt beispielsweise der Gülleanteil am Wirtschaftsdüngeraufkommen weiter an, die Güllelagerkapazität wird deutlich erhöht, der Weidegang bei Milchvieh geht sehr stark zurück, und es werden vermehrt emissionsarme Techniken bei der Wirtschaftsdüngerlagerung und Ausbringung eingesetzt. Mögliche Veränderungen der Grundfütterration beim Milchvieh wurden für die Projektionsrechnungen nicht berücksichtigt. Aufgrund des Rinderbestandsabbaus sinken auch die Nutzungskosten für Grünland, was für eine Beibehaltung der bisherigen Rationen spricht, dagegen spricht die Zunahme der Fütterung im Stall und der bestehende Trend zum Silomais.

Tab. 6.1: Einschätzungen über die Entwicklung der Tierzahlen in Deutschland in der Arbeitsgruppe "Agrarstruktur und ökonomische Bewertung"

	2010min	2010max
	Bestand im Jahr 2010 in % von 1990	
Rinder	62	64
Schweine	77	80
Geflügel	105	110
Schafe	65	68
Pferde	150	163

Quelle: Ergebnisse der Arbeitsgruppe "Agrarstruktur und ökonomische Bewertung"

Tab. 6.2: Entwicklung der Tierzahlen in Deutschland für Berechnungen im Modell RAUMIS

	Projektion für das Jahr 2010 hohe/geringe Tierbestände				
	1990	1995	1999	2010max	2010min
	in % von 1990				
	Stück	%	%	%	%
Milchkühe	6.354.011	82	75	61	58
Schlacht- und Mastkühe	205.054	57	44	43	41
Mutterkühe	209.066	273	329	329	329
Mastbullen	4.041.202	69	61	60	58
Färsen	5.658.109	83	81	69	67
Kälber	3.010.574	82	78	68	66
Sauen	3.194.792	79	84	83	80
Mastschweine	20.030.080	77	83	79	76
Junghennen	17.006.310	98	104	100	90
Legehennen	53.611.210	82	76	100	90
Masthähnchen	37.170.460	105	126	120	113
Sonstiges Geflügel	6.103.091	168	203	195	182
Schafe	2.361.243	75	84	84	84
Pferde	485.694	123	.	165	152
Rinder gesamt	19.478.016	82	76	67	64
Schweine gesamt	23.224.872	77	83	79	76
Geflügel gesamt	113.891.07	96	103	112	103
	1				
Milchleistung in kg Kuh <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	4.724	115	125	157	165

Quelle: Statistisches Bundesamt; Land- und Forstwirtschaft, Fischerei; Fachserie 3, Reihe 4, Viehbestand und tierische Erzeugung (div. Jgg.) und Fachserie 3, Reihe 4.2.2, Milcherzeugung und -verwendung (div. Jgg.); in RAUMIS berechnete Projektionen



Tab. 6.3: Schätzung der Bestandsklassenentwicklung bei Milchkühen (alte Länder)

Tiere in Beständen von ...bis ... Kühe	1986 – 1992	1992 - 1996	2010 (Projektion)
Veränderung in % pro Jahr			
1-19	-7,5	<b>-8,4</b>	-8
20-39	-2,5	<b>-3,7</b>	-4
40-59	-0,8	<b>3,5</b>	4
60-99	2,3	<b>14,6</b>	15
≥ 100	0,3	<b>24,1</b>	24

Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 3 (Land- und Forstwirtschaft, Fischerei), Reihe 4: Viehbestand und tierische Erzeugung, div. Jahrgänge; eigene Berechnungen; Ergebnisse der Arbeitsgruppe "Agrarstruktur und ökonomische Bewertung"

Tab. 6.4: Bestandsklassenentwicklung bei Sauen (alte Länder)

Bestandsklasse	AL Nord		AL Mitte		AL Süd		AL	
Tiere in Beständen von ... bis ... Sauen	1979-86	<b>1986-94</b>	1979-86	<b>1986-94</b>	1979-86	<b>1986-94</b>	1979-86	<b>1986-94</b>
Veränderung in % pro Jahr								
1-9	-9,4	<b>-8,8</b>	-6,6	<b>-5,9</b>	-8,5	<b>-8,4</b>	-8,7	-8,0
10-19	-6,5	<b>-7,5</b>	-2,6	<b>-2,9</b>	-4,0	<b>-5,4</b>	-5,4	-6,3
20-49	-1,8	<b>-4,6</b>	1,1	<b>-1,3</b>	-0,1	<b>-2,8</b>	-1,1	-3,8
50-74	3,8	<b>-0,3</b>	5,1	<b>1,0</b>	5,2	<b>0,4</b>	4,3	0,0
75-99	6,3	<b>5,0</b>	6,7	<b>4,7</b>	9,7	<b>2,5</b>	7,4	4,2
100 und mehr	13,9	<b>7,8</b>	9,3	<b>9,6</b>	14,3	<b>11,7</b>	13,8	8,7

Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 3 (Land- und Forstwirtschaft, Fischerei), Reihe 4: Viehbestand und tierische Erzeugung, div. Jahrgänge; eigene Berechnungen

Tab. 6.5: Bestandsklassenentwicklung bei Mastschweinen über 50 Kilo (alte Länder)

Bestandsklasse	AL Nord		AL Mitte		AL Süd		AL	
Tiere in Beständen von .. bis ... Mast- schweine	1979-86	<b>1986-94</b>	1979-86	<b>1986-94</b>	1979-86	<b>1986-94</b>	1979-86	<b>1986-94</b>
Veränderung in % pro Jahr								
1-9	-7,6	<b>-7,9</b>	-3,7	<b>-2,8</b>	-4,8	<b>-6,6</b>	-6,0	-7,1
10-49	-8,4	<b>-7,1</b>	-3,4	<b>-1,3</b>	-3,1	<b>-4,9</b>	-5,8	-5,8
50-99	-5,3	<b>-5,2</b>	1,1	<b>1,2</b>	1,0	<b>-1,3</b>	-3,3	-3,7
100-399	1,0	<b>-1,1</b>	4,9	<b>-1,3</b>	5,1	<b>3,4</b>	2,1	-0,1
400-999	7,2	<b>4,2</b>	10,9	<b>8,0</b>	10,4	<b>8,0</b>	8,1	5,1
1000 und mehr	6,6	<b>9,1</b>	.	.	-8,4	<b>8,0</b>	4,7	9,8

AL-Nord Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen, Bremen, Nordrhein-Westfalen  
 AL-Mitte Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland  
 AL-Süd Baden-Württemberg, Bayern  
 AL Alte Länder

Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 3 (Land- und Forstwirtschaft, Fischerei), Reihe 4: Viehbestand und tierische Erzeugung, div. Jahrgänge; eigene Berechnungen

Zur künftigen, räumlichen Verteilung der Tierhaltung wurde davon ausgegangen, dass die bisherige, regionale Verteilung beibehalten wird und daher als Ausgangsbasis für die Fortschreibung geeignet ist. Die Schweinemast wird in den Zentren der spezialisierten Veredlungsgebiete Niedersachsens und Nordrhein-Westfalens aufgrund von Auflagen (Düngeverordnung, Baugenehmigungen auf Grundlage eines Flächennachweises für Gülleausbringung) in ihrer Ausdehnung auf die Situation von 1999 begrenzt. Zuwächse entstehen möglicherweise aufgrund der weiter bestehenden Tendenz zu räumlicher Konzentration in den Randgebieten der Veredlungszentren, sie wurden für die Rechnungen aber nicht berücksichtigt. Für die Rinder- und die Sauenhaltung wurden in der Arbeitsgruppe "Agrarstruktur und ökonomische Bewertung" keine Aussagen über erhebliche Veränderungen in der künftigen räumlichen Verteilung getroffen.

### 6.1.2 Prognose der Flächennutzung

Eine weitere, für die Entwicklung der Ammoniak-Emissionen wichtige Größe ist die Flächennutzung. Diese wurde für beide Projektionen 2010max und 2010min einheitlich durch eine Simulation der Agenda 2000 - Bedingungen für das Jahr 2010 mit RAUMIS abgeschätzt. Dabei wurden die Rinderzahlen entsprechend der festgelegten Werte für die Projektion 2010max fortgeschrieben. In Tabelle 6.6 wird die Ackerflächennutzung nach den Angaben des Statistischen Bundesamtes sowie in der Projektion für das Jahr 2010 nebeneinander gestellt.

Tab. 6.6: Veränderung der Ackerflächennutzung in Deutschland zwischen 1990 und 1999 sowie in der Projektion für das Jahr 2010

	1990	1995	1999	2010 (Projektion)
Anbauanteile in % der Ackerfläche				
Wintergetreide	40,7	44,3	43,8	59,1
Sommergetreide	14,7	9,1	11,0	10,1
Ölsaaten	8,5	9,2	10,8	6,4
Kartoffeln	3,1	2,7	2,7	2,6
Zuckerrüben	4,9	4,4	4,3	3,7
Körnermais	2,4	3,0	3,3	2,8
Silomais	11,5	11,0	10,7	7,9
Sonst. Ackerfutterbau	6,7	4,6	4,2	3,1
Stilllegung	7,0	10,7	7,3	3,3
Kulturen mit Frühjahrsbestellung	37,3	31,4	33,2	27,6

Quelle: Angaben des Statistisches Bundesamt; Land- und Forstwirtschaft, Fischerei; Fachserie 3, Reihe 3, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung (div. Jgg.); mit RAUMIS berechnete Projektionen auf Grundlage der Agenda 2000 für das Jahr 2010

Durch die Wirkungen der nach Agenda 2000 vorgesehenen Einheitsprämie für Ackerkulturen und die angenommenen Preisrelationen nimmt der Wintergetreideanbau stark zu, während der Sommergetreideanbau weiter abnimmt. Der Zuckerrübenanbau geht aufgrund von Produktivitätsfortschritten kontinuierlich zurück. Wegen zurückgehender Rinderbestände wird trotz Beibe-

haltung der Silomaisprämie auch für den Silomaisanbau ein Rückgang prognostiziert. Insgesamt ergibt sich eine deutlich verringerte Fläche von Kulturen mit Frühjahrsbestellung. Die Flächen, auf denen im Frühjahr eine unverzügliche Einarbeitung von Wirtschaftsdünger möglich ist, werden also stark eingeschränkt. Unter Berücksichtigung der Annahme erweiterter Güllelagerkapazitäten, die zu einer Verlagerung der Ausbringung ins Frühjahr führen, ist daher mit einer deutlichen Zunahme der Ausbringung auf bewachsenen Flächen zu rechnen. Dies wird auch durch die in RAUMIS geschätzten Werte für die Ausbringung auf unbewachsene Flächen im Zieljahr 2010 deutlich, die stark zurückgeht (vgl. Tab.4.5).

## 6.2 Ergebnisse der Baselineprojektionen mit dem Modell RAUMIS

Auf Grundlage der technischen Annahmen aus der Modellkreisbefragung sowie der in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Annahmen zur Tierbestandsentwicklung und Flächennutzung für das Zieljahr 2010 wurden für hohe und niedrigere Tierbestände zwei Projektionen berechnet (2010max und 2010min). Durch die technologischen Veränderungen und veränderten Tierbestände sinken die Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung nach den Projektionen im Jahr 2010 auf 419.400 bis 434.600 t, das sind 68 bis 71 % der Emissionshöhe im Jahr 1990 oder 90 bis 93 % der Emissionshöhe im Jahr 1999 (vgl. Abb. 6.1)

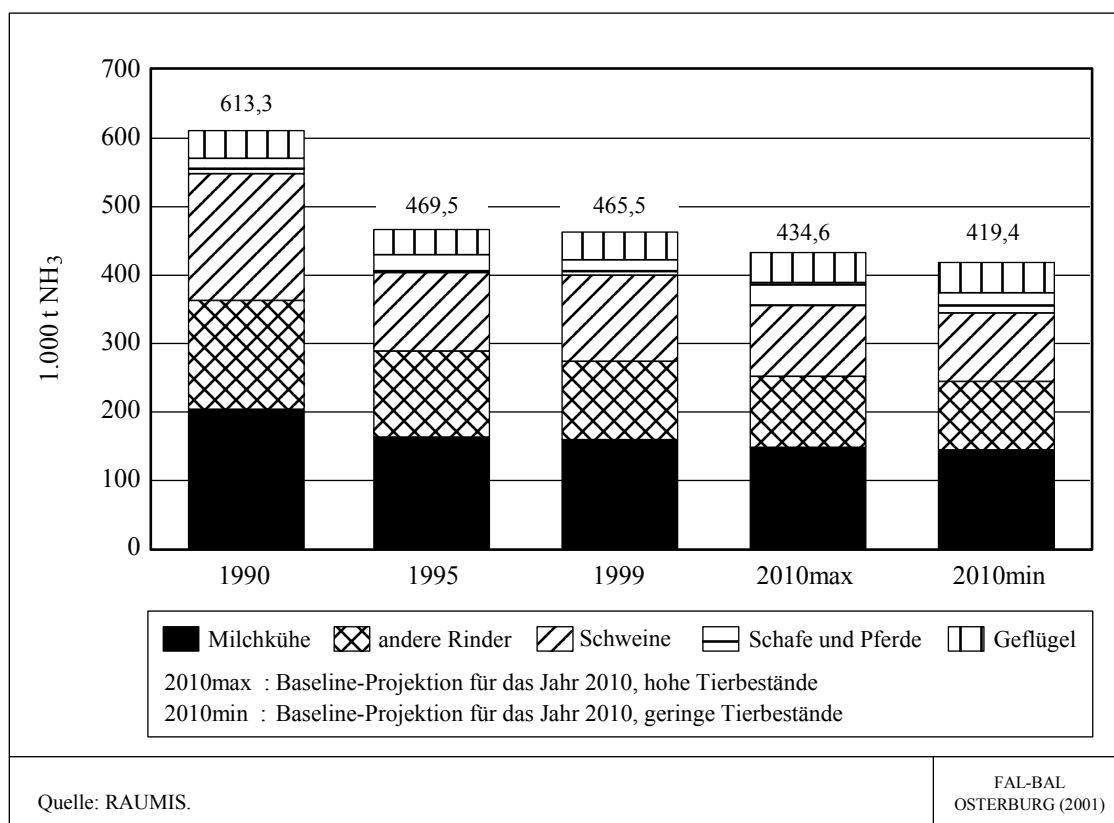


Abb. 6.1: Entwicklung der Höhe und Zusammensetzung der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung in den Jahren 1990, 1995, 1999 sowie Projektionen für das Zieljahr 2010 (berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung)

Trotz weiter sinkender Rinderbestände geht die Emission bei weitem nicht so stark zurück wie durch den Tierbestandsabbau in den neuen Ländern zwischen 1990 und 1995. Dies liegt an dem deutlich verlangsamten Tierbestandsabbau nach 1995 und daran, dass nach Agenda 2000-Beschluss eine um 1,5 % erhöhte Milchmenge produziert wird. Auch bei Schweinen kommt es zu einem leichten Rückgang der Emissionen, während sich bei Geflügel und Pferden wegen höherer Bestände eine Zunahme ergibt. Die Milchleistungssteigerung führt zu einem leichten Rückgang der Ammoniak-Emissionen aus der Milchviehhaltung bei gleicher Produktionsmenge. Wie ein Vergleich zwischen 2010max und 2010min zeigt, führt die um 5 Prozent höhere Milchleistung in Szenario 2010min zu einem Rückgang der Ammoniak-Emissionen aus der Milchviehhaltung um knapp 2.900 t. Aus der verringerten Anzahl geborener Kälber ergeben sich geringere Rinderzahlen, wodurch die Emissionen um weitere 2.800 t Ammoniak verringert werden.

Um den Einfluss der veränderten Tierzahlen und des technologischen Wandels voneinander zu isolieren, wurden zwei weitere Szenarien berechnet. Unter technologischem Wandel werden hier Veränderungen in der Fütterung, Haltung, Dunglagerung und –ausbringung verstanden, und zwar sowohl in Bezug auf die eingesetzte Technik als auch in Bezug auf Management und Verfahren. Während die Baseline-Projektionen 2010max und 2010min auf die technologischen Annahmen für das Jahr 2010 aufbauen, wurde aufbauend auf die Projektion mit hohen Tierbeständen (2010max) mit den technologischen Annahmen aus dem Jahr 1990 bzw. 2000 berechnet (Szenarien 2010\_T1990 und 2010\_T2000). Hierdurch ergeben sich andere Emissionssummen, die in Abbildung 6.2 dargestellt sind.

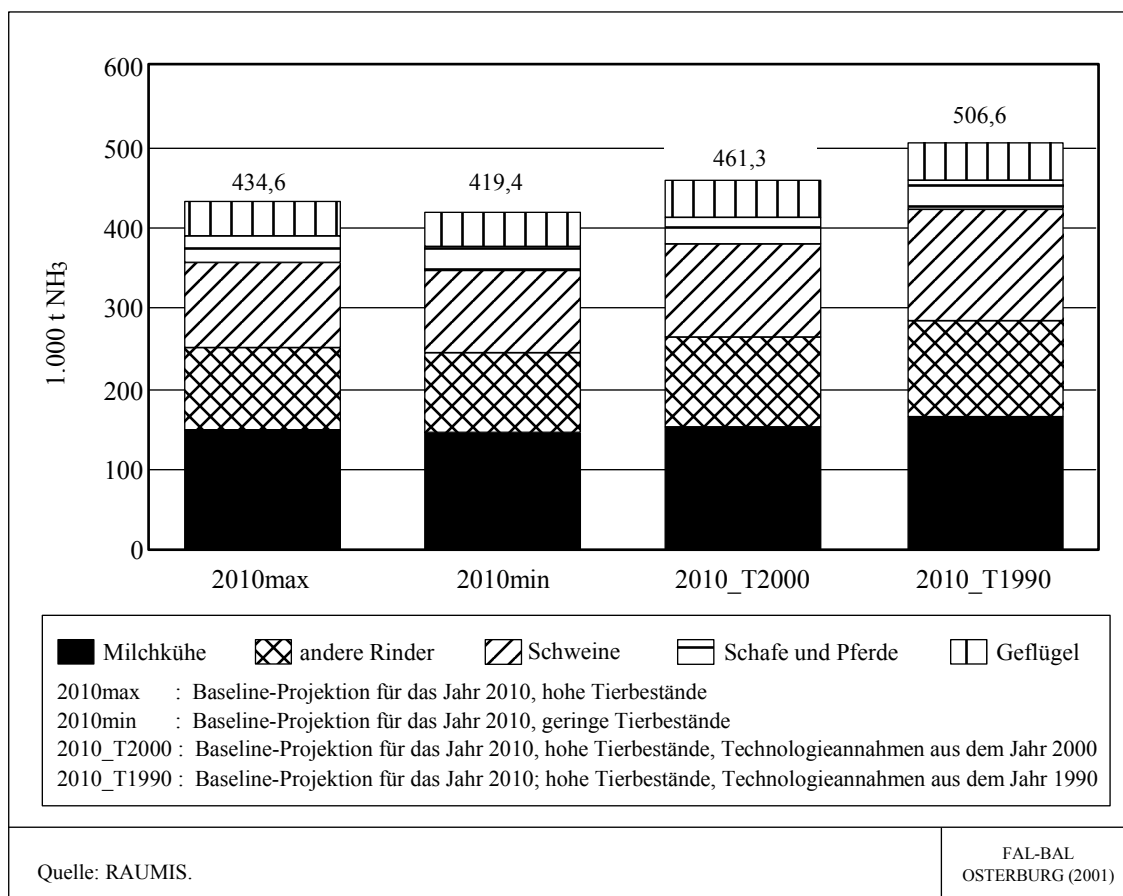


Abb. 6.2: Entwicklung der Höhe und Zusammensetzung der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung für unterschiedliche Projektionen im Zieljahr 2010 (berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung)

Ein Vergleich der Szenarien mit unterschiedlichen Annahmen zur Technologie erlaubt es, die Wirkungen veränderter Tierzahlen und der technologischen Entwicklung getrennt voneinander zu quantifizieren. Auf Grundlage der Technologie-Annahmen für 1990 (2010\_T1990) lägen die Gesamtemissionen im Jahr 2010 bei 506.600 t Ammoniak aus der Tierhaltung. Verglichen mit den Rechnungen für das Jahr 1990 ergäbe sich bei unveränderter Technologie ein ausschließlich auf die veränderten Tierbestände und Bestandsgrößenklassen beruhender Emissionsrückgang von gut 100.000 t Ammoniak. Die technischen Annahmen im Szenario 2010max führen zu einem weiteren Rückgang um ca. 70.000 t Ammoniak, der ausschließlich auf veränderte Technologien zurückzuführen ist.

Die entsprechende Rechnung mit Technologie-Annahmen aus dem Jahr 2000 (2010\_T2000) ergibt eine Summe von 461.300 t Ammoniak. Gegenüber den Rechenergebnissen für das Jahr 1999 würde sich bei den angenommenen Tierzahlen und Bestandsgrößenklassen im Jahr 2010 ohne weiteren technologischen Wandel nur ein Rückgang der Emissionen von knapp 1 % ergeben. Die leichten Rückgänge bei Rindern und Schweinen werden dabei durch Zunahmen bei Geflügel und Pferden nahezu kompensiert. Der im Szenario 2010max berechnete Emissionsrückgang von ca. 7 % liegt im Vergleich dazu deutlich höher. Dieser Unterschied ist mit den Annahmen zum weiteren, technologischen Wandel in der Tierhaltung und der Wirtschaftsdüngergelagerung und Ausbringung zu erklären. Diese Annahmen für das Zieljahr 2010 bauen auf die hochgerechneten Experteneinschätzungen für die Modellregionen auf. Der oben beschriebene Vergleich von 2010max mit Szenario 2010\_T1990 zeigt noch deutlicher, wie stark die Technologie-Annahmen auf das Rechenergebnis wirken. Aufgrund ihrer hohen Bedeutung für das Rechenergebnis wird es in Zukunft wichtig sein, die technologischen Annahmen stärker empirisch zu belegen.

Der technischen Wandel zieht aber nicht nur emissionsmindernde Wirkungen nach sich. Während die Zunahme von Güllesystemen, Ausweitung der Lagerkapazität, verbesserte Fütterung, Lagerung und Ausbringung positive Wirkungen haben, führt z. B. der Rückgang der Weidehaltung beim Milchvieh und die Zunahme der Ausbringung auf bewachsene Böden zu emissionssteigernden Effekten.

Zu den in der Projektion berechneten Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung müssen noch andere Emissionsquellen addiert werden, um die im Jahr 2010 in Deutschland zu erwartende gesamte Ammoniak-Emission zu quantifizieren. Als Zielgröße für die Emissionsminderung ist von 550 Gg Ammoniak auszugehen, die im "Protokoll zur Bekämpfung von Versauerung Eutrophierung und bodennahem Ozon" im Rahmen des Genfer Luftreinhalteabkommens festgelegt worden sind (vgl. Kapitel 1.1). Allein die Ausbringung von Mineraldüngern kann die Größenordnung von 100 Gg im Jahr überschreiten, hinzu kommen industrielle Quellen und der Kfz-Verkehr. Auch wenn beim Mineraldüngereinsatz emissionsmindernde Maßnahmen eingeführt werden, etwa eine Einschränkung der Verwendung von Harnstoff, wird im folgenden für sonstige Emissionsquellen eine Höhe von 100 Gg angenommen. Unter dieser Annahme wird das Ziel der Minderung der Ammoniak-Emissionen auf 550 Gg nur knapp erreicht. Bei ungünstigeren technologischen Annahmen (2010\_T2000) ist mit einer Überschreitung der Zielvorgabe zu rechnen. In Tabelle 6.7 sind die Emissionen aus der Tierhaltung für 1990 und 1999 sowie für die beschriebenen Projektionen für das Zieljahr 2010 dargestellt.

Tab. 6.7: Verteilung der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung in Deutschland 1990, 1999 und für Projektionen im Jahr 2010 (in 1000 t NH<sub>3</sub>, berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung)

Jahr	1990	1999	Projektion für das Jahr 2010		
			2010max	2010min	2010_T2000
in 1000 t NH <sub>3</sub>					
Milchkühe	204,9	159,4	149,1	146,2	154,5
Kälber	31,5	23,8	20,2	19,6	20,8
Mastbullen	58,1	29,1	26,8	25,9	29,6
Färsen	62,9	46,6	37,6	36,4	40,1
Mutterkühe	5,6	17,3	16,8	16,8	17,4
Schlacht- und Mastkühe	3,6	1,4	1,3	1,3	1,4
Rinderhaltung ohne Milch- kühe (other cattle)	161,7	118,2	102,8	100,0	109,3
<b>Rinder gesamt</b>	<b>366,6</b>	<b>277,6</b>	<b>251,9</b>	<b>246,2</b>	<b>263,8</b>
Mastschweine	117,2	80,0	66,7	64,2	75,1
Sauen	64,7	43,9	38,0	36,6	42,4
<b>Schweine gesamt</b>	<b>181,9</b>	<b>123,9</b>	<b>104,7</b>	<b>100,8</b>	<b>117,5</b>
Schafe	8,9	7,4	7,2	7,2	7,5
Pferde	16,3	15,3	25,4	23,4	26,0
Legehennen	23,2	16,4	21,1	19,0	22,3
Masthähnchen	6,9	8,6	8,3	7,8	8,3
Junghennen	3,0	3,1	3,1	2,8	3,1
Sonstiges Geflügel	6,4	13,2	12,9	12,3	12,9
<b>Geflügel gesamt</b>	<b>39,5</b>	<b>41,3</b>	<b>45,4</b>	<b>41,8</b>	<b>46,6</b>
<b>Tierhaltung gesamt</b>	<b>613,3</b>	<b>465,5</b>	<b>434,6</b>	<b>419,4</b>	<b>461,3</b>
<i>andere NH<sub>3</sub>-Emissionen (geschätzt)</i>			100,0	100,0	100,0
<b>Gesamtemission</b>			<b>534,6</b>	<b>519,4</b>	<b>561,3</b>
<i>Abweichung in % vom Minderungsziel (550 Gg)</i>			-2,8	-5,6	2,1
<b>Simpler Methodology</b>	<b>681,3</b>	<b>542,9</b>	<b>497,3</b>	<b>476,2</b>	<b>497,3</b>
Abweichung in % vom RAUMIS-Ergebnis	11	17	14	14	8

Quelle: RAUMIS, Stand Februar 2001

Wird von geringeren Tierzahlen im Jahr 2010 ausgegangen (2010min), kann das Minderungsziel mit größerer Sicherheit unterschritten werden. Dabei kommt der Rinderhaltung eine zentrale Bedeutung zu. Prognosen zum künftigen Rinderbestand sind aber aufgrund der aktuellen Entwicklungen auf den Agrarmärkten und in der Agrarpolitik nur schwer abzugeben, doch erscheint ein stärkerer Rückgang der Rinderzahlen zum jetzigen Zeitpunkt wahrscheinlich. Daher wurde in zwei Nebenrechnungen eine Abschätzung der Wirkungen eines weiteren Rinderbestandsabbaus untersucht.

Würde ausgehend von der Baseline 2010max der Mastrinderbestand durch frühere Vermarktung und Abbau des Mutterkuhbestandes um 30 % reduziert, würde das Minderungsziel bei gleichbleibend 100 Gg Ammoniak aus anderen Quellen um ca. 6 % unterschritten, also um 3 % mehr als in 2010max. Ein zusätzlicher Abbau des Milchviehbestandes um 10 % bei Verringerung der Milchproduktion und entsprechend geringeren Beständen an Nachzucht würde zu einer deutlichen Unterschreitung des Minderungszieles um 9,6 % führen.

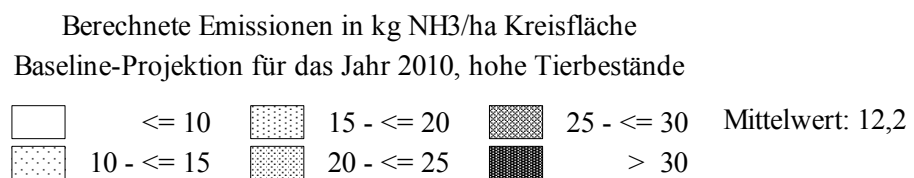
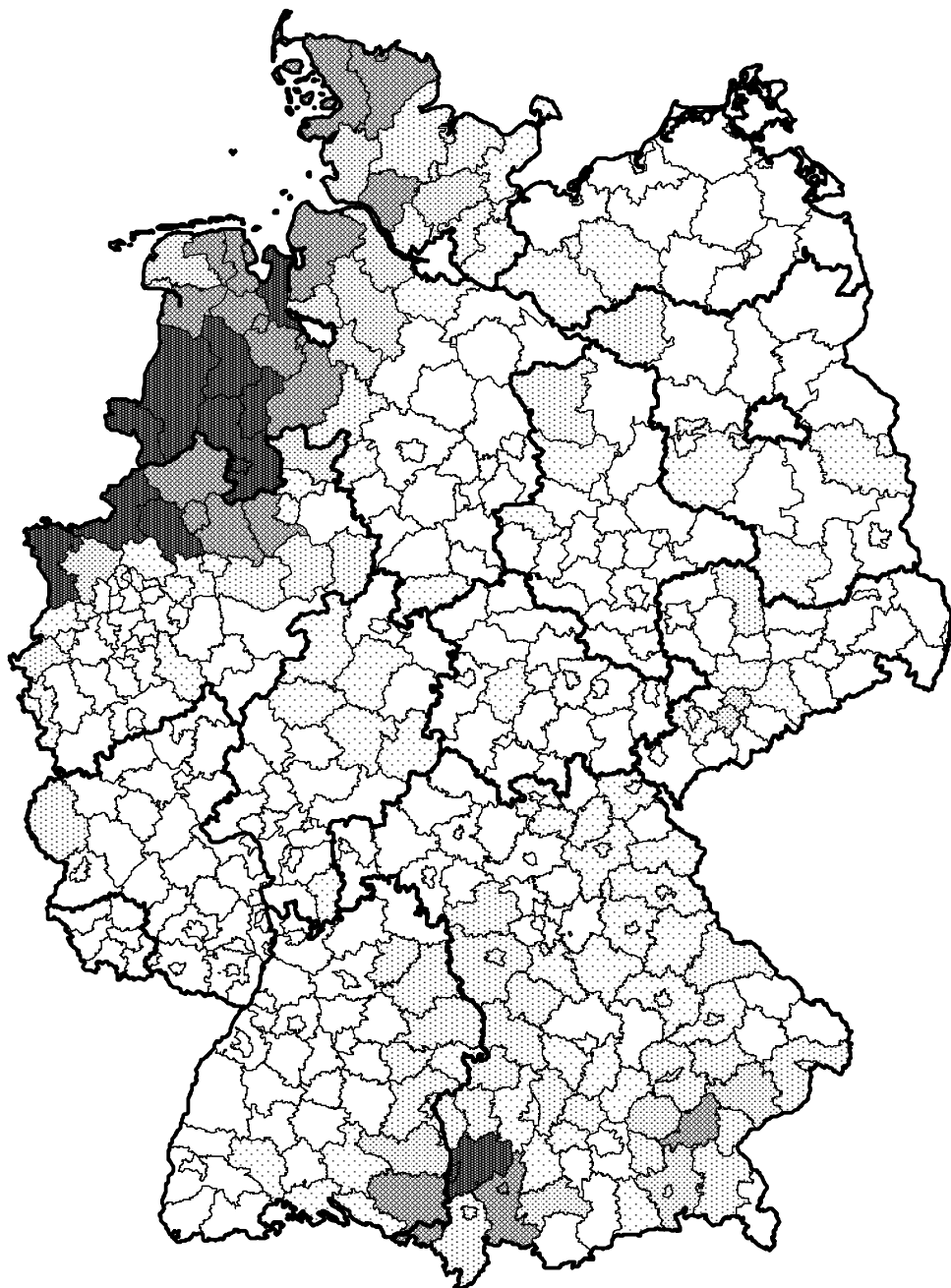
Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung von Gülle und Jauche berechnet. Da die Bedeutung der Ausbringung im Frühjahr durch die höheren Lagerkapazitäten zunimmt, kommt dieser Berechnungsmethode eine wachsende Bedeutung zu. Eine Kalkulation der Emissionen mit einheitlichen E-Faktoren bei der Gülle- und Jaucheausbringung für eine Temperatur von 15°C führt zu einer Gesamtemission von 486.150 t Ammoniak aus der Tierhaltung, das sind 11 % mehr gegenüber der Baseline-Projektion 2010max. Wird dieser vereinfachte Rechenweg zugrunde gelegt, würde das Minderungsziel im Jahr 2010 deutlich überschritten. Auch das mit RAUMIS zusätzlich durchgeführte Standard-Berechnungsverfahren mit festen E-Faktoren und ohne Verfahrensdifferenzierung ("Simpler Methodology" nach EEA/CORINAIR 2000) ergibt im Zieljahr 2010 gegenüber der RAUMIS-Berechnung deutlich höhere Emissionswerte, die in 2010max und 2010min um 14 % über dem Ergebnis mit RAUMIS liegen. Nach diesen Werten wäre eine Einhaltung des Minderungszieles von 550 Gg Ammoniak im Zieljahr 2010 ohne weitere politische Schritte nicht zu erreichen.

Das Ziel einer Minderung der Ammoniak-Emissionen ist zwar für ganz Deutschland vorgegeben, wichtig für die Abschätzung der ökologischen Wirkungen ist aber vor allem die regionale Verteilung der Emissionen. Die Karten 6.1 und 6.2 zeigen für die Baseline-Projektionen 2010max und 2010min, dass es im Jahr 2010 in weniger Kreisen zu hohen Ammoniak-Emissionen von über 25 kg pro Hektar Kreisfläche kommt. Die hohen Tierkonzentrationen in Nordwestdeutschland und im Alpenvorland haben nach wie vor sehr hohe regionale Emissionswerte zur Folge. Tabelle 6.8 zeigt die Veränderung der Verteilung der Modellkreise nach Klassen unterschiedlicher regionaler Emissionsdichte.

Tab. 6.8: Verteilung der regionalen NH<sub>3</sub>-Emissionsdichte aus der Tierhaltung in Deutschland 1990, 1995 und 1999 sowie für Projektionen im Jahr 2010 nach Modellkreisen (Emissionen berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung)

Emissionen in kg NH <sub>3</sub> / ha Kreisfläche*	< 5	5 - <= 10	10 - <= 15	15 - <= 20	20 - <= 30	> 30
Anzahl an Modellkreisen je Klasse						
1990	21	64	89	69	53	30
1995	40	131	67	35	37	16
1999	42	131	68	33	40	12
Projektion 2010max	47	144	56	35	32	12

\*) Gesamtfläche des Modellkreises, nicht LF      Quelle: RAUMIS, Stand Februar 2001

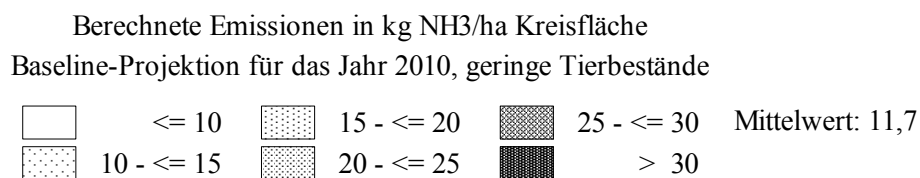
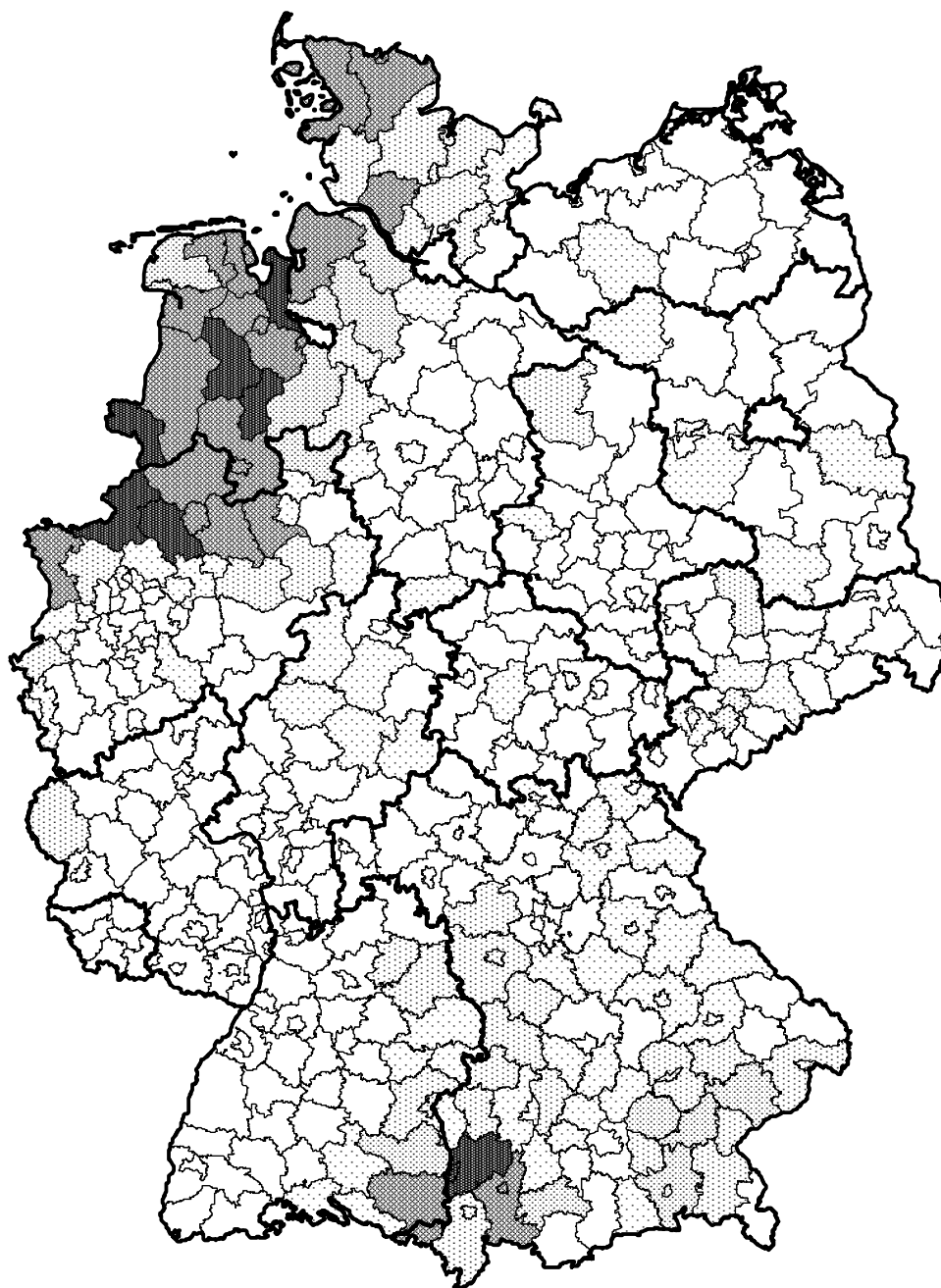


Quelle: RAUMIS.

FAL-BAL  
OSTERBURG (2001)

Karte 6.1: Berechnete Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in kg NH<sub>3</sub>/ha Kreisfläche: Baseline-Projektion für das Jahr 2010, hohe Tierbestände (gesamte Kreisfläche, nicht LF)





Quelle: RAUMIS.

FAL-BAL  
OSTERBURG (2001)

Karte 6.2: Berechnete Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in kg NH<sub>3</sub>/ha Kreisfläche: Baseline-Projektion für das Jahr 2010, geringe Tierbestände (gesamte Kreisfläche, nicht LF)

### 6.3 Berechnung ausgewählter Szenarien zur Minderung der Ammoniak-Emissionen

Auf Grundlage der Baseline-Projektion bei höheren Tierbeständen (2010max) wurden drei unterschiedliche Szenarien zur Ammoniak-Emissionsminderung für das Jahr 2010 berechnet. Dabei wurden die in Kapitel 5.1, Tabelle 5.2 vorgestellten Einzelmaßnahmen kombiniert. In Tabelle 6.9 werden die Maßnahmen je Szenario vorgestellt. Den Szenarien liegen unterschiedliche Annahmen zu den Rahmenbedingungen zugrunde:

Szenario 1. "Förderung" - Realistische Minimalminderung: In diesem Szenario wird angenommen, dass durch Förderung nur begrenzte Umstellungsraten auf emissionsmindernde Technologien zu erzielen sind. Weniger wirksame Maßnahmen wie die Abdeckung von Rindergüllelagern bleiben ganz ausgeklammert.

Szenario 2. "Auflagen"- Realistische maximale Minderung: Unter der Annahme obligatorischer Auflagen für die Tierhaltung wird angenommen, dass es zu höheren Umsetzungsraten für emissionsmindernde Technologien kommt. Verfahren wie die verbesserte Fütterung und die unmittelbare Dungeinarbeitung werden mit 50 % Umsetzung angenommen, da sie schwer zu kontrollieren sind, die Güllelagerabdeckung lässt sich dagegen leicht überprüfen und wird mit 100 % Umsetzung angesetzt. Andere Verfahren werden mit 90 % Umsetzung berechnet.

Szenario 3. "Förderung und Auflagen"- Relativ unrealistische Maximalminderung: Zu den Annahmen aus Szenario 2 kommen eine stärkere Umsetzung verbesserter Fütterung und unmittelbarer Einarbeitung, daneben werden die Güllelagerkapazität erhöht und Maßnahmen im Schweinestall aufgenommen. Die angenommenen, sehr hohen Umsetzungsanteile von 90 bis 100 % sind als sehr optimistisch anzusehen, weshalb die berechnete Emissionsminderung gegenüber Szenario 1 und 2 als vergleichsweise unrealistisch anzusehen ist.

Szenario 4: Entspricht Szenario 3, zusätzlich mit Einführung der Haltung von Milchvieh in Rinnenbodenställen. Beim Rinnenbodenstall handelt es sich um eine Maßnahme der Kategorie 2, die angenommene Minderung der Ammoniak-Emissionen im Stall um 50 % sind als optimistisch und möglicherweise unrealistisch einzuschätzen. Dies ist bei der Interpretation dieses Zusatzszenarios zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse der Szenariorechnungen sind in Abbildung 6.3 den Baseline-Projektionen gegenüber gestellt. Verglichen mit dem Baseline-Szenario 2010max kommt es nur zu geringfügigen Veränderungen. Durch die z. T. sehr optimistische Einschätzung der Situation in 2010max, die auf den Expertenschätzungen aus den Modellregionen aufbaut, sind eine Reihe von Möglichkeiten zur Emissionsminderung schon in der Baseline ausgeschöpft. Daher steigt die Emissionsminderung auch in den weitergehenden Szenarien kaum über 10-12 % der Emissionen im Baseline-Szenario 2010max. Die Einhaltung des Emissions-Minderungsziels von 550 Gg erscheint aber bereits bei Umsetzung von Szenario 2 wahrscheinlicher, da die Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung auf 410 Gg sinken. In Szenario 3 fallen sie sogar auf 390 und in Szenario 4 auf 380 Gg. Auch hier zeigt sich, dass die technologischen Annahmen für die Baseline-Projektion erheblichen Einfluss auf das Ergebnis haben.

Um zu zeigen, welche Wirkung von einer stärkeren Verbreitung emissionsmindernder Technologien und Verfahren auf die Höhe der Ammoniak-Emissionen ausgehen, wird die Baseline-Projektion 2010\_T2000 zugrundegelegt, also die Berechnung für das Zieljahr 2010 bei der Annahme, dass sich die technischen Bedingungen gegenüber dem Jahr 2000 nicht verändern. Als Referenz für die Szenarien erscheint dieses Szenario besser geeignet, da die eventuell zu op-

timistischen Erwartungen der Experten aus den Modellregionen in Hinblick auf den technologischen, emissionsmindernden Wandel bis zum Jahr 2010 nicht berücksichtigt werden.

Tab. 6.9: Zusammensetzung der berechneten Szenarien für das Zieljahr 2010 aus einzelnen Emissionsminderungsmaßnahmen

Nr.	Kürzel	Beschreibung der Maßnahme
<b>1. "Förderung": Realistische Minimalminderung</b>		
3.	S2a	<b>S2a: Angepasste Fütterung (2-Phasen-Fütterung/ RAM-Futter):</b> Mastschweine: 50% aller Mastplätze in Beständen über 600 Tiere (ca. 23% N-Reduzierung); Sauen: gleicher Anteil wie Schweinemast
5.	S3a_1	<b>S3a: Abdeckung des Güllelagers: Zeltdach zu 1)</b> 50% bei Gülleaußenlagerung
11.	S4b_1	<b>S4b: Einsatz verbesserte Gülleausbringungstechnik zu 1)</b> insgesamt 50% der ges. Gülleausbringung: <b>Schleppschlauch</b> , auf unbewachsenem Ackerland auch <b>Güllegrubber</b> (mit 20% der verbesserten Ausbringungsformen auf unbewachsenem Acker)
20.	R4b_1	<b>R4b: Einsatz verbesserter Gülleausbringungstechnik zu 1)</b> insgesamt 50% der ges. Gülleausbringung: <b>Schleppschlauch</b> ; auf unbewachsenem Acker auch <b>Güllegrubber</b> (mit 20% der verbesserten Ausbringungsformen auf unbewachsenem Acker); auf Grünland <b>Schleppschuh</b>
27.	G2a	<b>G2: N-angepasste Fütterung a)</b> 50% des Geflügels
<b>2. "Auflagen": Realistische maximale Minderung</b>		
3.	S2a	<b>S2a: Angepasste Fütterung (2 Phasenfütterung/ RAM-Futter):</b> Mastschweine: 50% aller Mastplätze in Beständen über 600 Tiere (ca. 23% N-Reduzierung); Sauen: gleicher Anteil wie Schweinemast
6.	S3a_2	<b>S3a: Abdeckung des Güllelagers: Zeltdach zu 2)</b> 100% bei Gülleaußenlagerung
9.	S4a_1	<b>S4a: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker zu 1) 50%
12.	S4b_2	<b>S4b: Einsatz verbesserte Gülleausbringungstechnik zu 2)</b> insgesamt 90% der ges. Gülleausbringung: <b>Schleppschlauch</b> , auf unbewachsenem Ackerland auch <b>Güllegrubber</b> (mit 20% der verbesserten Ausbringungsformen auf unbewachsenem Acker)
15.	R3a_2	<b>R3a: Abdeckung des Güllelagers: Zeltdach zu 2)</b> 100% bei Gülleaußenlagerung
18.	R4a_1	<b>R4a: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker 1) 50%
21.	R4b_2	<b>R4b: Einsatz verbesserter Gülleausbringungstechnik zu 2)</b> insgesamt 90% der ges. Gülleausbringung: <b>Schleppschlauch</b> ; auf unbewachsenem Acker auch <b>Güllegrubber</b> (mit 20% der verbesserten Ausbringungsformen auf unbewachsenem Acker); auf Grünland <b>Schleppschuh</b>
26.	G1	<b>G1: Kotband mit Trocknung</b> 90% aller Legehennenplätze
27.	G2a	<b>G2: N-angepasste Fütterung a)</b> 50% des Geflügels
29.	G4a	<b>G4: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker a) 50%

### 3. "Förderung und Auflagen": Relativ unrealistische Maximalminderung

1.	S1a	<b>S1a: Außenklimastall</b> (Kistenstall) mit und ohne Einstreu: 3% aller Mastschweineplätze
2.	S1b	<b>S1b: Großgruppen:</b> 80% aller Mastschweineplätze in Beständen über 600 Tiere
4.	S2b	<b>S2b: Angepasste Fütterung (2-Phasen-Fütterung / RAM-Futter):</b> Mastschweine: 100% aller Mastplätze in Beständen über 600 Tiere (23% N-Reduzierung); Sauen: gleicher Anteil wie Schweinemast
6.	S3a_2	<b>S3a: Abdeckung des Güllelagers: Zeltdach zu 2)</b> 100% bei Gülleaußenlagerung
8.	S3b_2	<b>S3b: Erweiterung der Lagerkapazität 2)</b> mindestens 9 Monate
10.	S4a_2	<b>S4a: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker zu 2) 90%
12.	S4b_2	<b>S4b: Einsatz verbesserte Gülleausbringungstechnik zu 2)</b> insgesamt 90% der ges. Gülleausbringung: <b>Schleppschlauch</b> , auf unbewachsenem Ackerland auch <b>Güllegrubber</b> (mit 20% der verbesserten Ausbringungsformen auf unbewachsenem Acker)
15.	R3a_2	<b>R3a: Abdeckung des Güllelagers: Zeltdach zu 2)</b> 100% bei Gülleaußenlagerung
17.	R3b_2	<b>R3b: Erweiterung der Lagerkapazität 2)</b> mindestens 8 Monate
19.	R4a_2	<b>R4a: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker 2) 90%
21.	R4b_2	<b>R4b: Einsatz verbesserter Gülleausbringungstechnik zu 2)</b> insgesamt 90% der ges. Gülleausbringung: <b>Schleppschlauch</b> ; auf unbewachsenem Acker auch <b>Güllegrubber</b> (mit 20% der verbesserten Ausbringungsformen auf unbewachsenem Acker); auf Grünland <b>Schleppschuh</b>
26.	G1	<b>G1: Kotband mit Trocknung</b> 90% aller Legehennenplätze
28.	G2b	<b>G2: N-angepasste Fütterung b)</b> 90% des Geflügels
30.	G4b	<b>G4: unmittelbare Einarbeitung</b> (innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung) auf unbewachsenem Acker b) 90%

### 4. wie Szenario 3, zusätzlich Maßnahme R1

13.	R1	<b>R1: Rostschieber</b> (Rinnenbodenstall, " <b>grooved floor</b> ") 50% aller Milchviehplätze in Beständen über 50 Tiere
-----	----	---

Verwendete Kürzel: S: Schweine, R: Rinder, G: Geflügel;  
 1: Stall, 2: Fütterung, 3: Lagerung, 4: Ausbringung  
 Zusammenfassung der Kürzel, z. B. bei Maßnahme Nr. 22 zur Bezeichnung "R4c\_1a"

Bei der Interpretation der Kosten, die durch die zusätzlichen Minderungsmaßnahmen in den Szenarien entstehen, ist zu berücksichtigen, dass nicht für alle Maßnahmen in gleicher Genauigkeit Kostenkalkulationen möglich waren und für eine Reihe wichtiger Maßnahmen, beispielsweise im Geflügelbereich, keine Kosten berechnet wurden. Daher werden die Gesamtkosten sowie die Kostenwirksamkeit, ausgedrückt in DM pro kg geminderte NH<sub>3</sub>-Emission, nur auf Rinder und Schweine bezogen. Bei Schweinen wurden die Kostenentlastungen durch die Großgruppenhaltung nicht mit berücksichtigt (vgl. Ausführungen auf S. 125). Der Aufwand für Mehrarbeit macht in allen Szenarien weniger als 5 % der zusätzlichen Kosten aus. Die Abschreibungen, Zinskosten sowie Aufwendungen für Energie und Reparatur erreichen aber erhebliche Größenordnungen. Verglichen mit Szenario-Rechnungen zur Agenda 2000 liegen die Mehrkosten im Szenario 1 bei 0,5 % der gesamten Aufwendungen für Vorleistungen, Abschreibungen und Zins im deutschen Agrarsektor, im Szenario 2 sogar bei 1 % dieser Größe. Die tierische Erzeugung würde also durch zusätzliche Kosten emissionsmindernder Maßnahmen erheblich belastet. Relative Änderungen des landwirtschaftlichen Einkommens liegen dabei deutlich über

der prozentualen Veränderung der Vorleistungen und Abschreibungen, da die Erlöse nicht beeinflusst würden. Ohne staatliche Fördermaßnahmen und Entwicklung kostengünstigerer, technischer Verfahren können sich durch die Umsetzung des Szenarios 2 sektorale Einkommensrückgänge von 2 Prozent und mehr der landwirtschaftlichen Gewinne ergeben. Genauere Aussagen zu den Einkommens- und Strukturwirkungen von Ammoniak-Minderungspolitiken können nur nach weiteren Forschungsarbeiten getroffen werden.

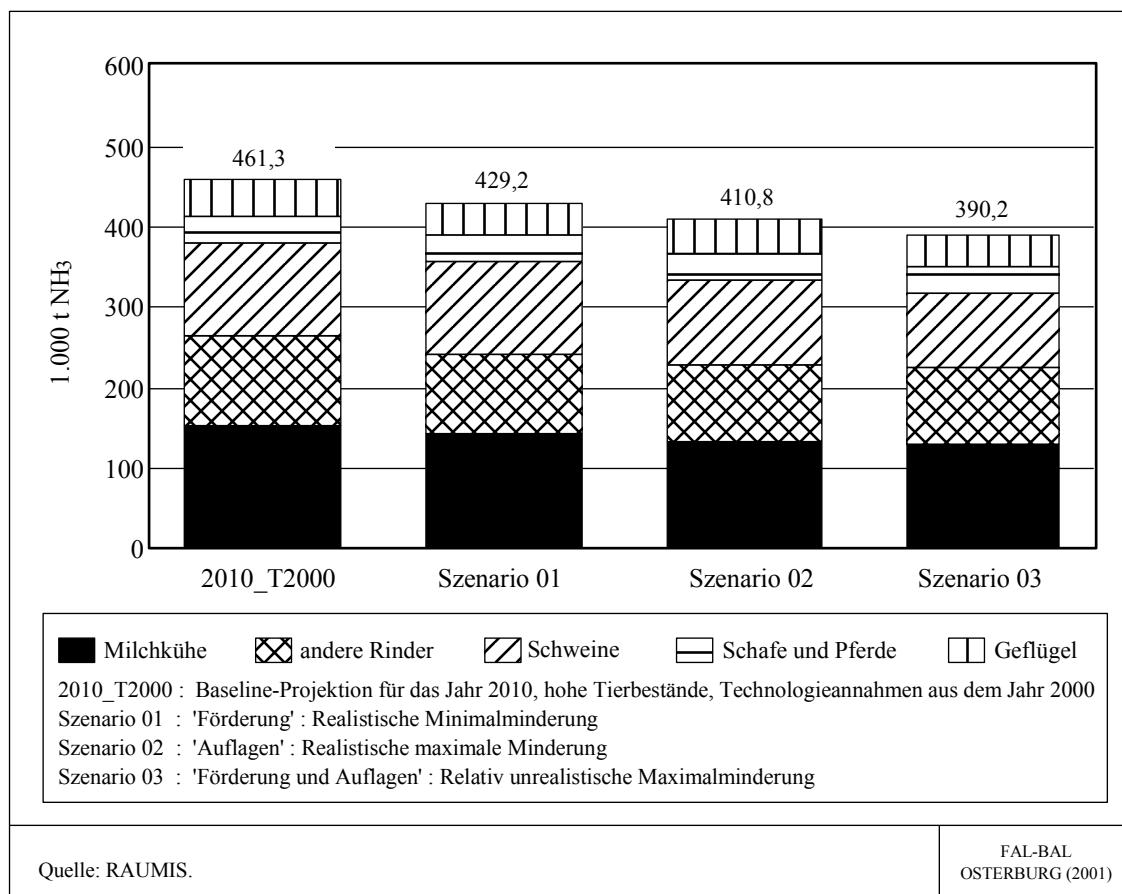


Abb. 6.3: Entwicklung der Höhe und Zusammensetzung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der Tierhaltung für Szenarien im Zieljahr 2010 (berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung)

Tab. 6.10 Wirkung der Umsetzung der Emissionsminderungs-Szenarien 1 bis 4 gegenüber der Baseline-Projektion 2010\_T2000 (Emissionen berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung)

Szenario	NH <sub>3</sub> -Emissionen aus der Tierhaltung	Emissionsminderung gegenüber 2010_T2000		Mehrkosten gegenüber 2010_T2000	Kostenwirksamkeit
	1000 t	1000 t	%	Mio DM (nur für Rinder und Schweine)	DM/kg NH <sub>3</sub>
2010_T2000	461,3				
Szenario 01	429,2	32,1	7,0	296	11,9
Szenario 02	410,8	50,5	11,0	569	12,3
Szenario 03	390,2	71,0	15,4	631	10,1
Szenario 04	381,0	80,3	17,4	712	9,9

Quelle: RAUMIS, Stand Februar 2001

Die erheblichen Emissionsminderungen der Szenarien werden mit Kosten von 10 bis 12 DM pro kg geminderte NH<sub>3</sub>-Emission erreicht. Auffällig ist dabei, dass die Kosten bei einer Ausweitung der Minderungsmaßnahmen in den Szenarien 3 und 4 sinken. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Kosten der Großgruppenhaltung bei Mastschweinen nicht berücksichtigt wurden. Die weitere Kostenreduktion in Szenario 4 erklärt sich daraus, dass durch die zusätzliche Emissionsminderung im Milchviehstall mehr emissionsgefährdeter Stickstoff bis zur Ausbringung erhalten bleibt. Die Kombination der Maßnahme im Stall mit der verbesserten Ausbringungstechnik führt dabei zu einer höheren Kostenwirksamkeit als bei Umsetzung nur einer der beiden Maßnahmen. Die Szenarien zeigen, dass nur bei Umsetzung einer Vielzahl von emissionsmindernden Maßnahmen eine deutliche Reduktion und damit die Einhaltung des Emissionsminderungsziels erreichbar ist.

Die künftig zu erwartende, regionale Höhe der Ammoniak-Emissionen sinkt durch die Umsetzung der Maßnahmen in den Szenarien weiter ab. Wie die Abbildung 6.4 zeigt, ergibt sich im Vergleich zu 1990 in den Szenarien 2010max sowie in Szenario 3 als einem besonders weitgehenden Szenario eine Senkung der Ammoniak-Emissionen in allen betrachteten Regionen. Dabei kommt es aber nicht zu einer Brechung der Spitzenwerte oder zu einer Nivellierung, vielmehr bleiben die Unterschiede zwischen den regionalen Emissionshöhen auch auf dem erreichten, niedrigeren Niveau erhalten. In Tabelle 6.11 wird deutlich, dass selbst bei Umsetzung von Szenario 3 noch 31 Kreise über einer Emission von 20 kg Ammoniak pro Hektar Gesamtfläche lägen. Es erscheint also sinnvoll, über zusätzliche, regionale Maßnahmen in Regionen mit besonders hohen Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung nachzudenken.

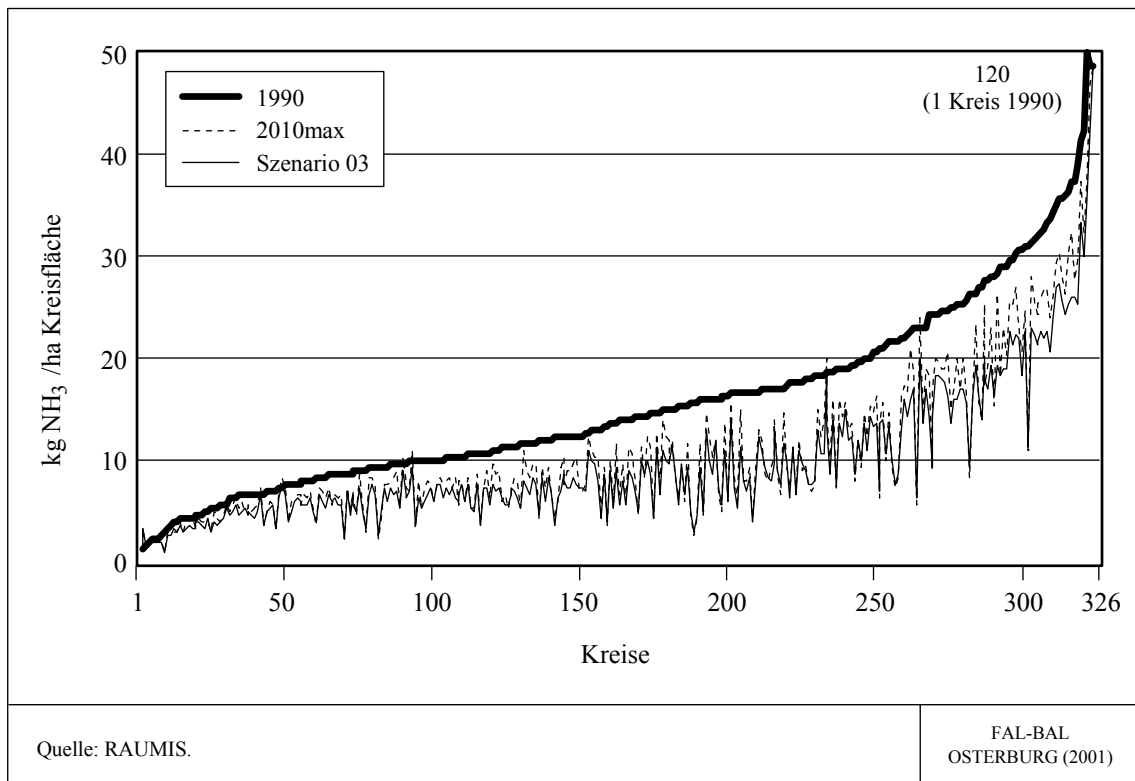


Abb. 6.4: Entwicklung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der Tierhaltung in kg  $\text{NH}_3$  je Hektar Kreisfläche (gesamte Fläche, nicht LF; berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung)

Tab. 6.11 Verteilung der regionalen  $\text{NH}_3$ -Emissionsdichte aus der Tierhaltung in Deutschland 1990 und für unterschiedliche Szenarien im Jahr 2010 nach Modellkreisen (Emissionen berechnet mit variablen Lufttemperaturen bei der Ausbringung)

Emissionen in kg $\text{NH}_3$ / ha Kreisfläche*	< 5	5 - <= 10	10 - <= 15	15 - <= 20	20 - <= 30	> 30
Anzahl an Modellkreisen je Klasse						
1990	21	64	89	69	53	30
Projektion 2010max	47	144	56	35	32	12
Szenario 01	42	156	57	32	30	9
Szenario 02	45	159	55	31	29	7
Szenario 03	48	166	54	27	26	5

\*) Gesamtfläche des Modellkreises, nicht LF; Quelle: RAUMIS, Stand Februar 2001

## 7 Emissionssituation bei Methan und Distickstoffmonooxid

### 7.1 Einordnung in das Emissionsgeschehen

Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Distickstoffmonooxid ( $\text{N}_2\text{O}$ , Lachgas), tragen als klimawirksame Gase zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Sie haben ihre Quelle auch in der Tierhaltung. Die Emissionsraten sind z.T. verfahrensabhängig und nicht konform mit den Ammoniak-Freisetzungen (Berg 1999; Jungbluth et al. 1999; Hartung und Monteny 2000). Um die Klimawirksamkeit der verschiedenen Gase miteinander vergleichen zu können, wird ihre Wirkung in Relation zu Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) gesetzt. Dem  $\text{CO}_2$  wird die Hälfte des globalen anthropogenen Treibhauseffektes zugeschrieben. Das spezifische Treibhauspotential (**Global Warming Potential**) von  $\text{CH}_4$  wird mit 21, das von  $\text{N}_2\text{O}$  mit 310 beziffert (massebezogen, Zeithorizont 100 Jahre) (IPCC 1995). Ihr Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt insgesamt wird auf 13 % ( $\text{CH}_4$ ) bzw. 5 % ( $\text{N}_2\text{O}$ ) geschätzt (Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ 1994).

Die anthropogenen  $\text{CH}_4$ - bzw.  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen Deutschlands werden für das Jahr 1999 wie folgt angegeben (UBA 2001, unveröffentlicht):

<b>Methan:</b>	insgesamt $3271 \cdot 10^6$ kg, davon aus der Landwirtschaft (einschließlich Klärschlammausbringung) $1468 \cdot 10^6$ kg, das entspricht einem Anteil von 45 %
<b>Distickstoffmonooxid:</b>	insgesamt $141 \cdot 10^6$ kg, davon aus der Landwirtschaft und der Abfallwirtschaft $79 \cdot 10^6$ kg, das entspricht einem Anteil von 55 %.

### 7.2 Methan

#### 7.2.1 Methan-Emissionen durch den tierischen Stoffwechsel

Bei den Wiederkäuern entsteht Methan hauptsächlich im Pansen, beim Vergären von Kohlenhydraten durch Mikroorganismen (anaerobe Zellulosevergärung). Die Methan-Produktion anderer Nutztiere (Monogastriden) ist dagegen deutlich geringer. Hinsichtlich der Emissionsraten liegen eine Reihe von Untersuchungen mit Hilfe von Respirationskammern vor. In Tabelle 7.1 sind die aus den verschiedenen Untersuchungen ermittelten, mittleren Emissionsfaktoren dargestellt (Ahlgimm und Gädeken 1990; Heyer 1994).

Tab. 7.1: Faktoren für die direkte, stoffwechselbedingte Methan-Emission (nach Ahlgimm und Gädeken 1990; Heyer 1994)

Tierart	$\text{CH}_4$ -Emission in kg/Tier und Jahr
<b>Rinder</b>	
Kälber < 6 Monate	21
Jungrinder 6 – 12 Monate	50
Jungrinder 1 – 2 Jahre	57
Färsen	61
Milchkühe	100
Sonstige	61
<b>Schweine</b>	1
<b>Geflügel</b>	0,1



Neben der Lebendmasse hat auch die Milchleistung einer Kuh wesentlichen Einfluss auf die CH<sub>4</sub>-Emission (vgl. Tab. 7.2).

Tab. 7.2: Stoffwechselbedingte Methan-Freisetzung einer Milchkuh in Abhängigkeit von der Lebendmasse und der Milchleistung (Kirchgessner et al. 1991a)

<b>CH<sub>4</sub>-Emission in kg je Tier und Jahr</b>	<b>Milchleistung in kg je Tier und Jahr</b>		
<b>Lebendmasse in kg je Tier</b>	4000	5000	6000
500	95	100	105
600	103	108	113
700	111	116	121

### 7.2.2 Methan-Emissionen aus den Exkrementen der Nutztiere

Neben den landwirtschaftlichen Nutztieren selbst sind auch die Exkremente eine bedeutende Methanquelle. Bei der anaeroben Lagerung der Wirtschaftsdünger wird die organische Substanz mikrobiell um- bzw. abgebaut. Die Quantifizierung dieser Methan-Quelle ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Es wird dabei vom Methan-Bildungspotential der Exkremente ausgegangen (s. Tab. 7.3). Für die CH<sub>4</sub>-Freisetzung setzt man pauschal 10 % des Bildungspotentials an oder etwas detaillierter die in Tabelle 7.4 aufgeführten Faktoren (Schön und Walz 1993; Heyer 1994; Hellebrand und Munack 1995).

Tab. 7.3: Methan-Bildungspotential aus den Exkrementen (nach Gibbs et al. 1989; Ahlgrimm und Gädeken 1990; Bouwman et al. 1991; Heyer 1994)

<b>Tierart</b>	<b>CH<sub>4</sub>-Bildungspotential in kg/Tier und Jahr</b>
<b>Rinder</b> (pauschal)	162
Kälber	59
Milchkühe	345
<b>Schweine</b>	32
<b>Geflügel</b>	2,4

Tab. 7.4: Methan-Konversionsfaktoren (Heyer 1994)

	<b>Methan-Konversionsfaktor</b>
<b>Rinder</b>	
Flüssigmistsysteme	0,15
Festmistsysteme	0,015
Weidehaltung	0,015
<b>Geflügel</b>	0,1
<b>Andere Tierarten</b>	0,05

### 7.2.3 Summarische Methan-Freisetzung und Möglichkeiten ihrer Minderung

Experimentelle Untersuchungen an Tierställen liefern Daten zur CH<sub>4</sub>-Freisetzung als Summe aus stoffwechselbedingten Emissionen und denen aus der anaeroben Umsetzung der Exkremente. Die Auswertung der Daten zeigt noch größere Spannen als bei Ammoniak (Hartung und Monteny 2000). Auch die Probleme der Normierung und verschiedener

angewendeter Messmethoden, auf die im Kapitel 3 "Emissionsfaktoren, Minderungsmaßnahmen und deren Kosten" schon hingewiesen wurde, lassen für die Emission von CH<sub>4</sub> allenfalls die Ableitung grober Richtwerte zu (Tab. 7. 5 und 7.6).

Tab. 7.5: Emissionsfaktoren für NH<sub>3</sub> und Orientierungswerte für CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O aus der Milchviehhaltung (Tierstall)

Milchvieh		Mittlere Emission in kg je Tierplatz und Jahr		
		NH <sub>3</sub> -N <sup>1</sup>	CH <sub>4</sub> <sup>2</sup>	N <sub>2</sub> O <sup>2</sup>
Anbindestall	Flüssig	4	90	0,3
	Fest	4	45	k.a.
Liegeboxenlaufstall	Flüssig	12	90	0,5
	Fest	12	70	k.A.

k.A. – keine Angabe; <sup>1</sup> Agru-Emissionen; <sup>2</sup> eigene Zusammenstellung

Tab. 7.6: Emissionsfaktoren für NH<sub>3</sub> und Orientierungswerte für CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O aus der Mastschweinehaltung (Tierstall)

Mastschweine		Mittlere Emission in kg je Tierplatz und Jahr		
		NH <sub>3</sub> -N <sup>1</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Flüssigmist	Vollspaltenboden	3	4	0,1
Einstreu	Teilspaltenboden	3	4	0,05
	Tiefstreu inkl.	4	3,5	2,5
	Kompoststall			
	2-Flächen-Stall, Dänische Aufstallung	4	2,5	0,1

<sup>1</sup> Agru-Emissionen; <sup>2</sup> eigene Zusammenstellung

Aufgrund der schlechten Datengrundlage und nicht abgestimmter Emissionsfaktoren ist eine Hochrechnung der CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Tierhaltung mit den oben aufgeführten Emissionsfaktoren zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich.

In der Tierhaltung ist die Freisetzung von Methan generell von größerer Bedeutung als die von Distickstoffmonoxid. Dies liegt einerseits in der Höhe der Emissionen begründet, in der Milchviehhaltung liegen die CH<sub>4</sub>-Emissionen mit 2 Zehnerpotenzen über den N<sub>2</sub>O-Emissionen, auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen, spezifischen Treibhauspotentiale liegt die Wirkung der CH<sub>4</sub>-Emissionen immer noch eine Größenordnung über der Wirkung der N<sub>2</sub>O-Emissionen. Andererseits stammen die CH<sub>4</sub>-Emissionen direkt aus der Tierhaltung, stoffwechselbedingt und aus den Exkrementen. Dagegen emittiert N<sub>2</sub>O mit Ausnahme einiger weniger Haltungsverfahren, auf die später hingewiesen wird, vor allem aus dem Boden, so dass der Beitrag der Tierhaltung mit dem Wirtschaftsdünger indirekt ist.

Derzeit werden folgende Maßnahmen zur Verringerung der CH<sub>4</sub>-Emission diskutiert:

- Gentechnik/Züchtung
- Fütterung: Getreideeinsatz, Fettzusatz, andere chemische Zusätze zur Förderung Gram-positiver zellulytischer Bakterien im Pansen, Verbesserung der Futterverwertung
- Erhöhung der Leistung.

Da die stoffwechselbedingten Emissionen, die zu mehr als 90 % von den Rindern hervorgerufen werden, den weitaus überwiegenden Teil der CH<sub>4</sub>-Emissionen ausmachen, besteht hier theoretisch ein großes Emissionsminderungspotential. Tierindividuelle

Unterschiede in der Futterverwertung können zu Differenzen in der CH<sub>4</sub>-Abgabe von  $\pm 10 \%$  führen (Ahlgrimm und Gädeken 1990).

Großen Einfluss auf die Methan-Freisetzung der Tiere hat auch die Zusammensetzung des Futters bzw. der Futterration. Diese bestimmt die Leistung der Tiere. Höhere Leistungen bedingen höhere Umsätze und damit höhere Emissionen je Tier und Zeiteinheit. Bezogen auf das Produkt (kg Milch oder Fleisch) gehen die Emissionen allerdings zurück. Dies gilt für CH<sub>4</sub> wie für N<sub>2</sub>O, als auch für Ammoniak. Betrachtet man jedoch nicht nur ein Zeitfenster (z.B. 1 Laktation), sondern bezieht auch die Nachzucht/Bestandsergänzung ein, so stellt man fest, dass sich dies nicht unendlich steigern lässt, und es hier einen optimalen Bereich gibt, in dem die produktbezogenen Emissionen ihre kleinsten Werte annehmen (Plöchl und Berg 1999).

Da die Methan-Bildung unter anaeroben Bedingungen vonstatten geht, würde eine Belüftung der Exkremente die CH<sub>4</sub>-Abgabe herabsetzen. Die Belüftung der Gülle führt jedoch zu einer erheblich stärkeren Ammoniak- und Geruchs-Freisetzung, und wird daher ausgeschlossen.

Der entgegengesetzte Weg, die geschlossene Lagerung der Exkremente, Methanisierung und gezielte Nutzung des gebildeten Methans in Biogasanlagen, ist ein möglicher Weg zur Minderung der Emissionen, vor allem von Methan.

Mit dem bisherigen Erkenntnisstand lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Flüssigmistsysteme sind mit höheren CH<sub>4</sub>-Emissionen verbunden als Festmistsysteme.
- Laufställe weisen in der Rinderhaltung höhere CH<sub>4</sub>-Emissionen auf als Anbindeställe. (Dies scheint auch für Flüssigmistsysteme zuzutreffen, obgleich dies in Tab. 7.4 nicht zum Ausdruck kommt.)

Daraus folgt, dass bei einer weiteren Entwicklung der Haltungssysteme von Anbinde- zu Laufställen und von Fest- zu Flüssigmistverfahren mit einer Zunahme der CH<sub>4</sub>-Emissionen zu rechnen ist.

Derzeit vorhandene Ammoniak-Minderungsmaßnahmen (vgl. Kapitel 3) können gleichzeitig zu einer Minderung der CH<sub>4</sub>-Emissionen führen, dies trifft z.B. auf die angepasste Fütterung zu. Andere NH<sub>3</sub>-Minderungsmaßnahmen führen allerdings zu einer Erhöhung der Methan-Emission. Dies trifft für den Rinderlaufstall mit Rinnenboden und passendem Schiebersystem zu (Swierstra und Braam 1999). In einem Praxisstall, der mit diesem System ausgerüstet ist, hat Seipelt (1999) eine Minderung der Ammoniakemission von 32 % festgestellt, zugleich war allerdings eine Zunahme der CH<sub>4</sub>-Emissionen um etwa 12 % zu verzeichnen. Auch bei der Abdeckung von Güllelagerbehältern mit einem Zeltdach wird über erhöhte CH<sub>4</sub>-Emissionen berichtet (vgl. Tab. 7.7; Wanka und Hörnig 1997). Andere Abdeckungen können u.U. ebenfalls die CH<sub>4</sub>-Freisetzung fördern (Hüther 1999).

### **7.3 Distickstoffmonooxid**

Die N<sub>2</sub>O-Emissionen stammen fast ausschließlich aus dem Boden und sind vom Stickstoffeintrag durch die Düngemittel sowie dem Bodentyp abhängig.

Die Wirtschaftsdünger sind hierbei genauso zu bewerten wie die Mineraldünger insgesamt. Gegenwärtig kann man davon ausgehen, dass ca. 1 % des gedüngten Stickstoffs als N<sub>2</sub>O dem Boden entweicht (Bouwman 1990; Beese 1994; Heinemeyer et al. 1995; IPCC 1995). Annähernd 10 % der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus dem Boden werden dem Stickstoffeintrag bei der

Weidehaltung zugeschrieben, mehr als 10 % dem Stickstoffeintrag, der auf die Ammoniak-Emissionen zurückgeht (Deposition) (Schön und Walz 1993).

In dazu verhältnismäßig geringem Umfang ist mit direkten  $N_2O$ -Emissionen aus der Tierhaltung zu rechnen. Hier wurden bislang insbesondere in Tiefstreuensystemen nennenswerte Emissionen festgestellt, z.T. auch während der Exkrementlagerung unter anaeroben Bedingungen (Thelosen et al. 1993; Groenestein et al. 1993; Groenestein und van Faassen 1996; Sneath et al. 1996; Wanka und Hörnig 1997; Berg 1998a und b; Hüther 1999; Roß et al. 1999). Die Datengrundlage zu direkten  $N_2O$ -Emissionen aus der Tierhaltung ist noch unsicherer als bei  $CH_4$ . Die aus den bisherigen Untersuchungen abgeleiteten und in den Tabellen 7.5 und 7.6 angegebenen Werte können deshalb nur als sehr grobe Richtwerte herangezogen werden.

Der gegenwärtige Erkenntnisstand führt zu folgender Einschätzung:

- Tiefstreuensysteme sind mit höheren  $N_2O$ -Emissionen verbunden als alle anderen. In der Schweinemast ist dies bereits deutlich zu erkennen (1 Größenordnung), in der Rinderhaltung (Mast) ist dies bislang weniger belegt.

Eine Aussage, ob Laufställe auch höhere  $N_2O$ -Emissionen aufweisen als Anbindeställe, lässt sich z.Z. noch nicht treffen.

Die im Kapitel 3 "Emissionsfaktoren, Minderungsmaßnahmen und deren Kosten" beschriebenen Maßnahmen zur Minderung von Ammoniak-Emissionen aus Güllelagerbehältern durch verschiedene Abdeckungen können auch Auswirkungen auf die  $N_2O$ -Emission haben. Aufgrund der zu  $CH_4$  bereits angemerkten methodischen Probleme bei der Messung der  $N_2O$ -Emissionen und der Einflüsse anderer Parameter ist gegenwärtig eine gesicherte Quantifizierung nicht möglich. In ersten Untersuchungen wurde deutlich, dass möglicherweise bei einigen Varianten der Behälterabdeckung mit höheren  $N_2O$ -Emissionen zu rechnen ist (vgl. Tab. 7.7, Wanka und Hörnig 1997; Hüther 1999; Roß et al. 1999).

Um politische Fehlentscheidungen hinsichtlich der Vorgaben zu den Behälterabdeckungen zu vermeiden, sind die Untersuchungen zur Wirkung von Behälterabdeckungen auf die  $NH_3$ -,  $CH_4$ - und  $N_2O$ -Emissionen fortzuführen und mit gesichertem Datenmaterial wissenschaftlich zu unterlegen.

Tab. 7.7: Maßnahmen zur Minderung der  $NH_3$ -Emissionen und ihre Auswirkungen auf die Emission von  $N_2O$  und  $CH_4$

Minderungsmaßnahmen	Minderungspotential		
	$NH_3$	$CH_4$	$N_2O$
Angepasste Fütterung	↑	↑X	—
Optimiertes Schiebersystem mit Spülung, Harnrinne und glatter geneigter Oberfläche im Rinderstall	↑↑	↓	—
Abdeckung des Güllelagers mit			
Strohhäcksel	↑↑	↑X	↑X
Granulat	↑↑	↑↑	↓↓
Schwimmfolie	↑↑↑	↑	↓↓
Zeltdach	↑↑↑	↓↓↓	↓

↑- Minderung von Emissionen; ↓- Zunahme von Emissionen; ↑X - Emissionsminderung abhängig von weiteren Einflussparametern

## 8 Politikempfehlungen

### 8.1 Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniak-Emissionen in den Bundesländern

In Deutschland werden auf nationaler Ebene und in den Bundesländern seit geraumer Zeit Politiken durchgeführt, die unter anderem Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft reduzieren sollen. Als Politikinstrumente kommen hierbei die Subventionierung bzw. Prämienvergabe, Schulungen sowie Ge- und Verbote zur Anwendung. Für eine über die derzeitigen Anstrengungen hinausgehende Reduzierung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen können bestehende Politiken ausgeweitet und neue Instrumente eingesetzt werden. Daher wird in diesem Abschnitt ein kurzer Überblick über die Maßnahmen der Länder zur Minderung der Ammoniak-Emission gegeben. Eine umfassende Darstellung der bisherigen Förderpolitiken, die auch quantitative Angaben einschließt, war aufgrund unvollständiger oder fehlender Daten nicht möglich.

Die vorgestellten Ergebnisse entstanden aus einer Befragung der zuständigen Länderministerien über die jeweiligen Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniak-Emissionen auf Länderebene. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die ausgewerteten Angaben von unterschiedlicher Qualität sind, sowohl was den dokumentierten Zeitraum betrifft als auch bezüglich der Differenzierung nach Fördermitteln und spezifischen Maßnahmen. Anhand der in Tabelle 8.1 aufgeführten Länderaktivitäten wird deutlich, dass bereits seit 1990 in allen Bundesländern eine Reihe unterschiedlicher Maßnahmen zur Reduktion der Ammoniak-Emissionen realisiert wurden.

Tab. 8.1: Politikinstrumente der Bundesländer zur Reduzierung von Ammoniak-Emissionen 1990-1999 (Angaben der Landwirtschaftsministerien der Länder)

	Güllelager- kapazität	Güllelager- Abdeckung	Geräte zur Flüssigmist- ausbringung	Richtlinien	Schulungen	Informatons- material
Baden-Württemberg	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bayern	✓	k.A.	✓	k.A.	✓	✓
Brandenburg	✓	k.A.	k.A.	k.A.	✓	✓
Hessen	✓	✓	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Mecklenburg-Vorpom.	✓	✓	✓	✓	k.A.	k.A.
Niedersachsen	✓	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	✓
Nordrhein-Westfalen	✓	k.A.	✓	k.A.	✓	✓
Rheinland-Pfalz	✓	✓	k.A.	k.A.	k.A.	✓
Sachsen	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sachsen-Anhalt	✓	k.A.	✓	k.A.	✓	✓
Saarland	✓	k.A.	✓	k.A.	✓	✓
Schleswig-Holstein	✓	k.A.	k.A.	✓	✓	✓
Thüringen	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben der Landwirtschaftsministerien der Länder für die Jahre 1990-1999; k.A.: keine Angabe

In der Regel gibt es aber nur wenige, speziell auf die Minderung der Ammoniak-Emissionen zielende Maßnahmen. Meist handelt es sich um Maßnahmen, die neben anderen Zielen auch

zu einer Reduzierung der Ammoniak-Emissionen beitragen sollen. In vielen Fällen wurde bspw. die Erweiterung der Güllelagerkapazität gemeinsam mit der Abdeckung von Güllelagern finanziert, oder in Beratungsunterlagen wird neben der Verringerung von Nitrat-Belastungen ins Grundwasser auch über die Vermeidung von Ammoniak-Verlusten informiert. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass in einigen Ländern Maßnahmen zur Güllelagerung und -ausbringung von den Umweltministerien durchgeführt und finanziert werden, über die für diese Auswertung keine vollständigen Informationen zur Verfügung standen. Eine quantitative Darstellung der Ausgaben der Bundesländer für spezifische Politikmaßnahmen, die zur Reduzierung der Ammoniak-Emissionen beitragen, kann aus diesem Grund nicht vorgenommen werden.

Eine Maßnahme, die von allen Bundesländern angeboten wird, ist die Erhöhung der Güllelagerkapazitäten (siehe Abb. 8.1). Das für die Förderung zur Verfügung gestellte Finanzvolumen weist im Vergleich zwischen den Bundesländern große Unterschiede auf. So wurden zwischen 1990 und 1999 in Niedersachsen über 200 Mio. DM zur Förderung der Lagerkapazitätserweiterung ausgegeben, in Hessen waren es im gleichen Zeitraum unter 5 Mio. DM. Die Förderhöhe pro m<sup>3</sup> neu geschaffener Lagerraum schwankt in einem weiten Bereich zwischen 14 und 50 DM, im Saarland lag die Förderung sogar bei 80 DM/m<sup>3</sup>. Es ist davon auszugehen, dass die Förderung der Kapazitätserweiterung zu einer regional sehr unterschiedlichen, insgesamt aber erheblichen Ausdehnung der Lagerdauer bei Gülle beigetragen hat. Die Erweiterung der Güllelagerkapazität soll im Saarland und in Brandenburg in den nächsten Jahren als Ländermaßnahme weitergeführt werden, während die meisten Länder diesen Bereich auch in der 2000/2001 beginnenden Förderphase der einzelbetrieblichen Investitionsförderung zuordnen.

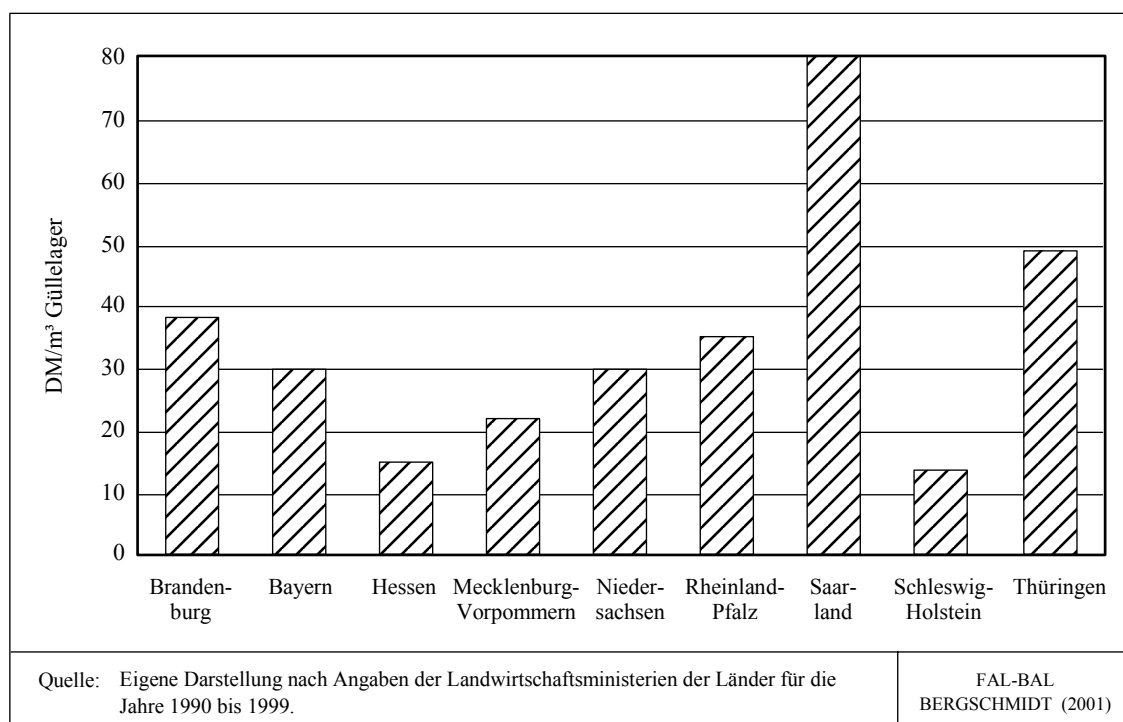


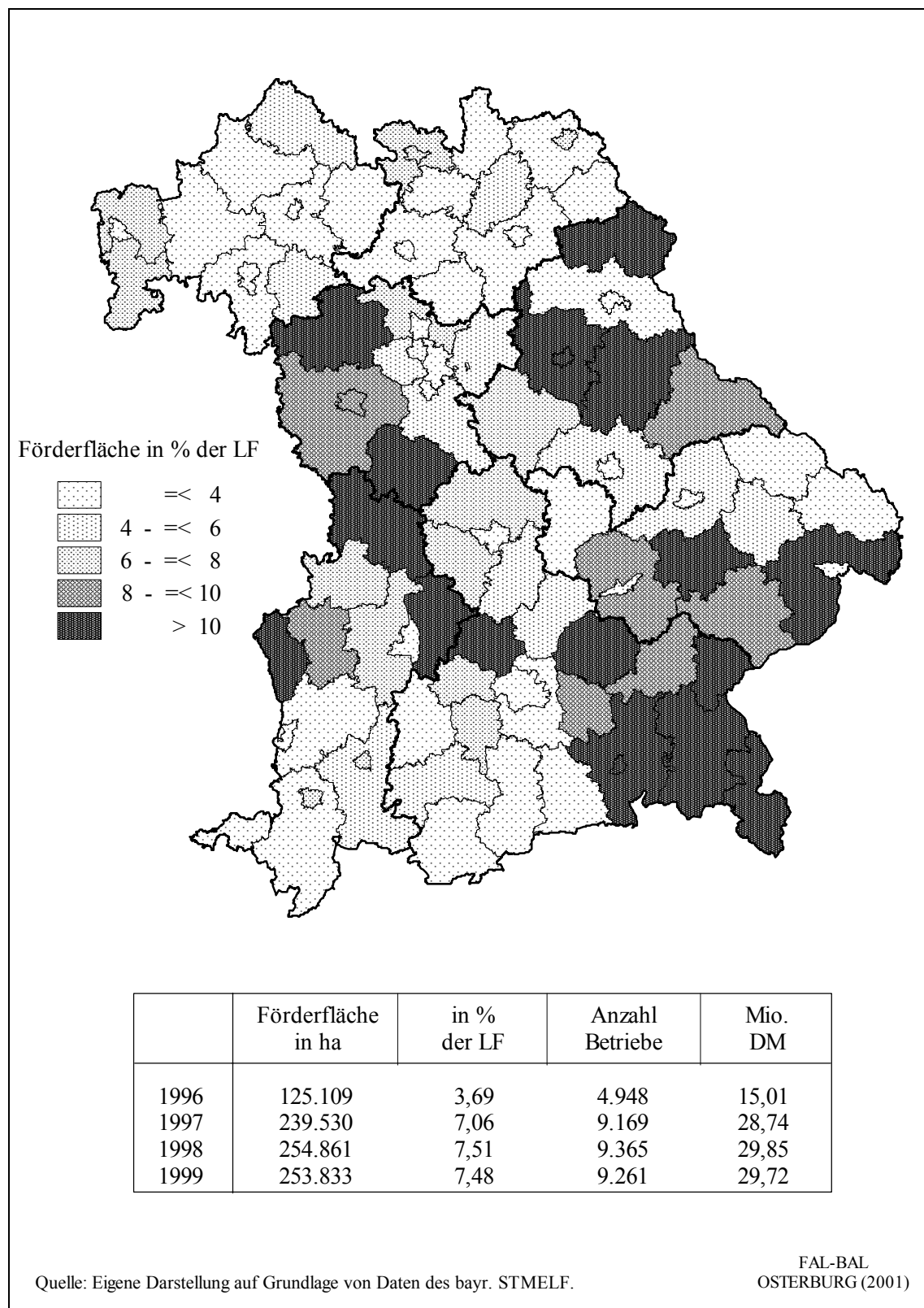
Abb. 8.1: Förderung einer Erhöhung der Güllelagerkapazität im Rahmen von Ländermaßnahmen und der einzelbetrieblichen Investitionsförderung (Gesamtzuschuss in DM/m<sup>3</sup> zusätzlicher Güllelagerraum)

Eine weitere Möglichkeit zur Förderung emissionsmindernder Maßnahmen stellen freiwillige Agrarumweltmaßnahmen dar. Im Rahmen dieser Programme werden umweltentlastende Maßnahmen mit Prämien vergütet. Die Förderung bezieht sich dabei in der Regel auf die Fläche. In der vergangenen Förderperiode machte nur Bayern im Rahmen der VO (EWG) 2078/92 Gebrauch von dieser Möglichkeit, und zwar durch eine KULAP-Maßnahme zur „umweltschonenden und bodennahen Flüssigmistausbringung“, die als zeitlich befristete Anschubfinanzierung flankierend zur einzelbetrieblichen Investitionsförderung konzipiert war. Daher wurden nach 1998 keine Neuanträge mehr aufgenommen. In Karte 8.1 ist die Inanspruchnahme dieser Maßnahme, bezogen auf die gesamte LF, dargestellt. Ausgezahlt werden 120 DM pro Hektar oder 4 DM pro m<sup>3</sup> Gülle bei bodennaher Ausbringung mit dafür geeigneter Technik, z. B. dem Schleppschlauch-Verfahren.

Auffällig ist die regional sehr unterschiedliche Verteilung der Umsetzung, welche nicht nur mit unterschiedlichen Landnutzungssystemen begründet werden kann. Hohe Akzeptanzraten werden möglicherweise auch durch regionale Initiativen in der Beratung und im Wasserschutz erreicht. Bemerkenswert ist, dass es in grünlandstarken Gebieten mit ausgeprägter Rinderhaltung wie dem Allgäu nur zu geringen Umsetzungsraten gekommen ist. Hier ist außerdem eine Fördervariante stärker verbreitet, bei der nur Teile des Betriebes unter die Programmauflagen fallen. In Grünlandgebieten gibt es oft Hangflächen, auf denen bodennahe Ausbringungstechniken nicht oder nur eingeschränkt einsetzbar sind. Daher ist hier die Teilflächenvariante attraktiver. Auf Grünland ist die Schleppschuh-Technik ein geeignetes, aber vergleichsweise teures Ausbringungsverfahren. Die Prämien decken daher nur bei großen Ausbringungsgeräten die Mehrkosten der Ausbringung ab. Auf Ackerland ist die Schleppschuhtechnik weniger geeignet als das Schleppschlauchverfahren. Eine optimale, technische Ausstattung wäre daher nur bei Doppelmechanisierung möglich. Große Ausbringungsgeräte mit hoher Schlagkraft haben in Grünlandbetrieben keine Vorteile, da die Ausbringung zeitlich flexibler erfolgen kann, durch das hohe Gerätegewicht kann es dagegen leichter zu Spurschäden kommen. Schließlich werden mögliche Futterverschmutzungen durch die bandförmige, bodennahe Gülleablage als Problem für die Akzeptanz genannt. Aufgrund solcher technischer Probleme mit der neuen, geförderten Ausbringungstechnik auf Grünlandflächen, eventuell auch wegen bereits verbreiteter Maßnahmen wie der Verdünnung der auf Grünland ausgebrachten Gülle mit Wasser, blieb die Umsetzung dieser Agrarumweltmaßnahme in Grünlandgebieten eingeschränkt.

Hohe Akzeptanz fand die Maßnahme hingegen in Gebieten mit mehr Ackerbau, z. B. nördlich und östlich von München, in den westlichen Landesteilen und in der Oberpfalz. Auf Ackerland können Schleppschlauchtechnik oder Güllegrubber mit großen, schlagkräftigen Geräten eingesetzt werden, wodurch Arbeitsspitzen in der Frühjahrsbestellung oder bei der Stoppelbearbeitung gebrochen werden können. In Regionen mit Grünland und Ackerbau kann daraus eine größere Bereitschaft resultieren, auch auf Grünland neue Techniken einzusetzen. Diese freiwillige Agrarumweltmaßnahme konnte zu einer stärkeren Verbreitung neuer Ausbringungstechnologien in Bayern beitragen. Noch größere Flächenanteile und eine höhere Akzeptanz gerade in Problemgebieten wie dem Allgäu sind aufgrund von Problemen der Finanzierbarkeit und Akzeptanz aber nur schwer erreichbar. Bei emissionsmindernder Ausbringungstechnik auf Grünland sind offenbar auch noch technische Probleme zu lösen.

Im Rahmen der neuen Agrarumweltprogramme nach VO (EG) 1257/99 wurde in Bayern und Baden-Württemberg eine Maßnahme zum umweltorientierten Betriebsmanagement aufgenommen, die auch Elemente zur Ammoniak-Emissionsminderung vorsieht.



Karte 8.1: Förderfläche nach VO (EWG) 2078/92 für umweltschonende und bodennahe Gülleausbringung in Bayern im Jahr 1998



In den Entwicklungsplänen der Länder zur Umsetzung der VO (EG) 1257/99 werden bestimmte Maßnahmen zur Vermeidung von Ammoniak-Emissionen als gute fachliche Praxis definiert. Die Einhaltung der guten fachlichen Praxis wird in Zukunft kontrolliert und zur Voraussetzung für die Vergabe von Fördermitteln gemacht, z. B. in benachteiligten Gebieten. Zu den Maßnahmen gehört eine unverzügliche Einarbeitung von Wirtschaftsdüngern und Sekundärrohstoffdüngern auf unbestelltem Ackerland gemäß Düngeverordnung (siehe Kasten). Als Güllelagerkapazität werden mindestens 6 Monate verlangt, bei Mastschweinen bis zu 9 Monate. Durch die Definition der guten fachlichen Praxis wurden verbindliche Standards bezüglich der Ammoniak-Emissionsvermeidung definiert. Über solche Standards hinausgehende, freiwillige Maßnahmen können weiterhin durch Prämien, Zuschüsse oder Zinsverbilligung honoriert werden, etwa im Rahmen der Agrarumweltprogramme oder der einzelbetrieblichen Investitionsförderung.

#### **Definition der guten fachlichen Praxis der Wirtschaftsdüngerausbringung nach Düngeverordnung**

**Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 26. Januar 1996, BGBl. Teil I vom 6. Februar 1996, S. 118; geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 16. Juli 1997 (BGBl. I S. 1836)**

(2) Beim Ausbringen von Gülle, Jauche, Geflügelkot oder stickstoffhaltigen flüssigen Sekundärrohstoffdüngern ist Ammoniakverflüchtigung insbesondere durch bodennahe Ausbringung soweit wie möglich zu vermeiden. Hierbei sind auch Vegetationsstand und Witterung, vor allem Temperatur und Sonneneinstrahlung, zu berücksichtigen. Auf unbestelltem Ackerland hat der Betrieb Gülle, Jauche, Geflügelkot oder flüssige Sekundärrohstoffdünger unverzüglich einzuarbeiten.

#### **Erläuterungen zur Verwaltungsvorschrift für Niedersachsen (in Anlehnung an die Musterverwaltungsvorschrift zur DVO):**

Beim Ausbringen von Gülle, Jauche, Geflügelkot oder stickstoffhaltigen flüssigen Sekundärrohstoffdüngern ist Ammoniakverflüchtigung zu vermeiden. Das soll u.a. geschehen durch bodennahe und großtröpfige Ausbringung. Auf "unbestelltem Ackerland" sind Gülle, Jauche, Geflügelkot oder flüssige Sekundärrohstoffdüngern (z.B. Klärschlamm, Kartoffelfruchtwasser) unverzüglich einzuarbeiten. Nach Düngemittelverordnung gelten Sekundärrohstoffdünger als "flüssig", wenn der Trockenrückstand höchstens 10 % beträgt.

"Unverzüglich" bedeutet im juristischen Sinn: "Ohne schuldhaftes Verzögern". Neben dieser juristischen Definition ist zur Beurteilung dieses Begriffes der Zeitpunkt der Ausbringung, das angewandte Verfahren und die aktuelle Witterung zu berücksichtigen. Um die Ammoniakverluste so gering wie möglich zu halten, ist eine Einarbeitung der genannten Düngemittel am Tag der Ausbringung erforderlich. Bei einer Ausbringung am Abend hat die Einarbeitung spätestens am folgenden Vormittag zu erfolgen.

Werden die genannten Düngemittel bei einer aus fachlicher Sicht ungünstigen, d.h. verlustträchtigen Witterung (hohe Lufttemperatur) ausgebracht, ist die sofortige Einarbeitung (Gülledrill oder paralleles Arbeitsverfahren) erforderlich. Dazu können alle Bodenbearbeitungsgeräte herangezogen werden, die eine ausreichende Einarbeitung in den Boden bewirken. Kommt unter ammoniakemissionsfördernden Bedingungen eine verlustarme Technik, wie z. B. das Schleppschlauchverfahren, zum Einsatz, sollte eine Frist von vier Stunden bis zur Einarbeitung nicht überschritten werden. Bei Aufbringung mit einem Schleppschuhverteiler oder mit direkt einarbeitenden Geräten ist keine zusätzliche Einarbeitung erforderlich.

Ein Verstoß gegen die genannte Vorschrift stellt eine Ordnungswidrigkeit im Sinne der Düngeverordnung dar und kann Bußgeld nach sich ziehen.

*zitiert nach: Landwirtschaftskammer Hannover, Fachinformationen, Dr. Gerhard Baumgärtel, Boden, Düngung, Berechnung. <http://www.lwk-hannover.de/lwk/> ; „Düngeverordnung beachten!“ Letzte Aktualisierung: 13.11.00*

Neben Maßnahmen, die als explizite Zielsetzung eine Reduktion der Ammoniak-Emissionen oder eine Optimierung der Güllewirtschaft haben, gibt es eine Reihe von Politiken, die indirekt die Ammoniakemissionen beeinflussen. Unter anderem sind hier Politiken zu nennen, die der Marktentlastung in der Tierproduktion dienen, oder auch Politiken zur Extensivierung von Grünlandflächen, soweit sie eine Verringerung des Viehbestandes zur Folge haben. Auch Preisänderungen bei Futtermitteln können über veränderte Futterrationen Wirkungen auf die Emissionen haben. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verringerung der Stützkpreise für Getreide im Rahmen der 92er Agrarreform zu höheren Getreideanteilen im Tierfutter geführt hat. Da gleichzeitig der Anteil eiweißreicher Komponenten wie Soja gesunken ist, kommt es dabei zu niedrigeren, ausgeschiedenen N-Mengen (Brouwer und Hoogeveen 2000) und in der Folge zu geringeren Ammoniak-Emissionen.

## **8.2 Beurteilung der im *"Protokoll zur Bekämpfung von Versauerung Eutrophierung und bodennahem Ozon"* geforderten Maßnahmen**

Im Rahmen des *„Protokolls zur Bekämpfung von Versauerung Eutrophierung und bodennahem Ozon“* werden eine Reihe von Maßnahmen gefordert, die durch die Vertragsstaaten umzusetzen sind (vgl. Kapitel 1.1.6). Die geforderten Maßnahmen und Minderungsziele des jüngsten Protokolls im Rahmen Genfer Luftreinhalteabkommens werden bereits teilweise durch vorhandenes deutsches Recht abgedeckt, z.B. die Düngeverordnung (maximale Ammoniak-Verluste bei der Ausbringung)) und die 4. BImSchV einschl. der TA Luft (Abdeckung von Güllelagern).

Die darüber hinausgehenden Verpflichtungen stellen zum Teil nur geringe zusätzliche Anforderungen dar, z. B. bei der Festmisteinbringung. Die Forderung einer Emissionsminderung im Stall um 20 % für die Schweinehaltung in großen Beständen erweist sich hingegen als schwer zu realisierendes Ziel, da eine obligatorische Einführung von emissionsmindernden Kaltställen nicht sinnvoll erscheint. Allerdings könnten entsprechende Minderungen durch den Einsatz von N-angepassten Fütterungsstrategien erzielt werden, die bei Bestandsgrößen in genehmigungsbedürftigen Anlagen aus wirtschaftlichen Gründen ohnehin eingeführt werden sollten. Die Forderung einer Minderung der Ammoniakverluste bei der Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger um 30% gegenüber der Ausbringung mit dem Prallteller ist durch eine flächendeckende Einführung emissionsmindernder Ausbringungstechniken zu erreichen. Bei der Ausbringung von Schweinegülle ist die Schleppschlauchtechnik ein geeignetes Verfahren. Da Rindergülle zu großen Teilen auf Grünlandflächen ausgebracht wird und hier der Einsatz der Schleppschlauchtechnik weniger emissionsmindernd wirkt, existiert für Rindergülle bisher kein universell einsetzbares Verfahren zur Erreichung des gesetzten Minderungsziels.

## **8.3 Politikoptionen zur Reduzierung der Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung**

Für die Ausgestaltung von Umweltpolitiken sind die unterschiedliche Aktionsparameter zu definieren, von denen das politische Instrument nur ein Element darstellt. Scheele et al. (1993) nennen als vier zu bestimmende Aktionsparameter das politische Instrument, die technologische Ansatzstelle, Adressat und Regelungsraum:

**Instrument:** Bei der Wahl des Instruments sind neben Aspekten der Effektivität und Effizienz auch die administrative Umsetzbarkeit, die Kontrollierbarkeit, die politische Durchsetzbarkeit und die Verteilungsgerechtigkeit zu berücksichtigen.

**Technologische Ansatzstelle:** Hier geht es um die Auswahl des Bereiches, in den direkt eingegriffen werden soll (Emission, Immission, Produktionsumfang, Produktionsprozess – Technik und Management). Entscheidend ist, bei welchen Ansatzstellen ein hoher Zusammenhang mit dem Umweltproblem und gleichzeitig ausreichende Mess- und Kontrollierbarkeit gegeben sind. Die Definition der gesamten Ammoniak-Emissionen als Ansatzstelle eröffnet mehr Anpassungsspielräume, führt aber zu hohen Mess- und Kontrollproblemen (ergebnisorientierte Maßnahme). Auf einzelne Teilaspekte wie Fütterung, Haltungsform, Wirtschaftsdüngerlagerung oder –ausbringung fokussierte Ansatzstellen führen dagegen zu einem begrenzten Anpassungsspielraum, da Schritte zur Lösung des Emissionsproblems stärker vorgegeben sind. Hierdurch werden möglicherweise günstigere Anpassungsmaßnahmen nicht realisiert, andererseits ergeben sich aber weniger Kontrollprobleme. Dabei sind "investitionsorientierte" Maßnahmen (Maschinen, Gebäude und Einrichtungen) leichter zu überprüfen als "handlungsorientierte" Maßnahmen, die auf das Management abzielen (z.B. Einarbeitung von Wirtschaftsdünger). Gerade solche, stark vom betrieblichen Management abhängige Maßnahmen wie eine N-angepasste Fütterung, eine schnelle Einarbeitung von Wirtschaftsdünger nach der Ausbringung oder die Verdünnung von Gülle mit Wasser sind nur schwer kontrollierbar. Andererseits ermöglichen diese Managementmaßnahmen oftmals flexible, an jahreszeitliche und betriebliche Gegebenheiten angepasste Strategien zur Emissionsminderung, die darüber hinaus sehr kostengünstig und effektiv sind. Bei diesen Maßnahmen stehen also eine gute Umsetzbarkeit und hohe Effizienz in der landwirtschaftlichen Praxis einer schlechten Kontrollierbarkeit durch die Administration gegenüber. Hieraus entsteht ein Konflikt, da eine bessere Kontrollierbarkeit als Voraussetzung für die Durchführung obligatorischer oder freiwilliger honorierter Maßnahmen nur bei weniger effizienten Strategien zur Emissionsminderung erreichbar ist.

**Adressaten:** In der Regel sind landwirtschaftliche, vor allem tierhaltende Betriebe die Adressaten politischer Maßnahmen zur Reduzierung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft. Bei Input-Steuern auf Mineraldünger und Futtermittel kann auch der vorgelagerte Bereich Adressat sein.

**Regelungsraum:**  $\text{NH}_3$ -Emissionen führen zu regional begrenzten Immissionen, die Umweltbelastungen stehen also in direkter Beziehung zu den regionalen Emissionen. Weiterhin steht neben den nationalen Reduktionszielen die Entlastung der durch Ammoniak-Immissionen belasteten, sensiblen Lebensräume im Mittelpunkt. Daher erscheint es gerade bei den Ammoniak-Emissionen als sinnvoll, eine regionale Abgrenzung der Reduktionsziele und ggf. auch der politischen Maßnahmen zu diskutieren, z. B. auf Ebene von Ländern oder Regierungsbezirken.

In der Arbeitsgruppe "Agrarstruktur und ökonomische Bewertung" wurden insbesondere die Verknüpfung zwischen Instrumenten und technologischen Ansatzstellen betrachtet. Dazu wurde eine Reihe möglicher Kombinationen von Instrumenten und Ansatzstellen vorgestellt. Die Arbeitsgruppenmitglieder waren gebeten, einen vorher diskutierten Fragebogen mit Maßnahmenvorschlägen auszufüllen und eigene Vorschläge zu ergänzen. Aufgrund der wenigen Rückläufe und dem Fehlen einer Abstimmung in der Arbeitsgruppe ist eine abschließende Darstellung von Ergebnissen nicht möglich, vielmehr sind die dargestellten Aspekte als Anregung für weitere Diskussionen zu werten. Ungünstig war bei der Befragung insbesondere, dass zum Zeitpunkt der Befragung noch keine vollständigen Ergebnisse aus den vorgelagerten Arbeitsschritten vorlagen, insbesondere zur Abschätzung der Minderungspotentiale, was eine Bewertung der tech-

nischen Ansatzstellen erschwerte. Andere Arbeitsgruppenmitglieder befürchteten angesichts der politischen Brisanz, dass einmal getroffene Bewertungsvorschläge zu vorschnellen Rückschlüssen Anlaß geben könnten, und machten daher keine Bewertungsvorschläge. Die Ergebnisse der 5 Rückläufe sind in Tabelle 8.2 dargestellt. Die Antworten wiesen in fast allen Fällen ähnliche Bewertungsvorschläge auf.

Die Maßnahmenvorschläge sollten anhand unterschiedlicher Kriterien bewertet werden. Zu nennen sind die administrative Umsetzbarkeit, die politische Durchsetzbarkeit, die Zielgenauigkeit des politischen Instrumentes sowie Nebeneffekte.

Die **Umsetzbarkeit** einer Maßnahme hängt vom erforderlichen Verwaltungsaufwand und den vorhandenen administrativen Strukturen, Kenntnissen und Erfahrungen ab. So sind Maßnahmen, die auf derzeit schon durchgeführte Maßnahmen aufbauen, leichter umzusetzen als neu politische Ansätze, da auf vorhandene Erfahrungen zurückgegriffen werden kann. Weitere wichtige Indikatoren für die Umsetzbarkeit können zu erwartende Probleme bei der Kontrolle, Sanktionsmöglichkeiten oder die rechtliche Verbindlichkeit von Auflagen sein. Diese Indikatoren hängen wiederum von der Definition der technischen Ansatzstelle ab. Technische Maßnahmen mit Investitionen in Stall, Lagerraum oder Maschinen sind i.d.R. leichter zu kontrollieren als Managementmaßnahmen wie Zeitpunkt der Ausbringung und Einarbeitung von Wirtschaftsdünger. Die **Kontrolle** wurde als besonders wichtiger Aspekt getrennt bewertet.

Die politische **Durchsetzbarkeit** einer Politik hängt von den Verteilungswirkungen einer Maßnahme, möglichen Interessenskonflikten und den Aktivitäten bestehender Interessensvertretungen ab. Im Vordergrund steht hier die Akzeptanz von Maßnahmen auf Seiten der Landwirtschaft.

Unter dem Kriterium **Zielgenauigkeit** eines politischen Instrumentes sollten bewertet werden, wie zielgerichtet es zu Veränderungen von Produktionsstrukturen, Techniken und Management beiträgt, die in Bezug auf das Ziel der  $\text{NH}_3$ -Emissionsminderung möglichst effektiv und effizient sind. So erhöht z. B. eine Steuer auf Stickstoff in Mineraldüngern den Wert von Wirtschaftsdüngern und fördert damit auch eine bessere Verwendung der Wirtschaftsdünger, doch ist diese Maßnahme in Hinblick auf die  $\text{NH}_3$ -Emissionen weniger zielgerichtet als z. B. die direkte Förderung von verbesserten Ausbringtechniken.

Zusätzlich wurden auch erwünschte und unerwünschte **Nebeneffekte** einbezogen, z. B. Wirkungen auf andere Produktionsbereiche oder unverhältnismäßig hohe Einkommenswirkungen. Hierunter fallen auch "Mitnahmeneffekte", die entstehen, wenn eine Maßnahme auch ohne Förderung umgesetzt worden wäre, aber eine Förderung in Anspruch genommen wird. Abschließend sollte die mögliche **Akzeptanz** von Maßnahmen bei unterschiedlicher Kostenerstattung in einem Zeitraum bis zum Jahr 2010 abgeschätzt werden, wobei die zu erwartende, meist begrenzte Übernahmebereitschaft in der Landwirtschaft, z. B. aufgrund von Risikoerwägungen oder generellen Modernisierungshemmnissen in kleiner strukturierten Betrieben, zu berücksichtigen ist.

Bei der Bewertung der **Effektivität** (Wirksamkeit) eines Politikinstrumentes ist die Effektivität der Maßnahme nur ein Einflussfaktor. Zusätzlich müssen Informationen über die Akzeptanz der Maßnahme verfügbar sein. Das Politikinstrument "Förderung der Güllelagerabdeckung" etwa ist umso effektiver, je mehr Güllelager durch die Förderung abgedeckt werden können. Die Akzeptanz von Politiken ist von der Ausgestaltung abhängig (z.B. von der Prämienhöhe), wird aber auch von Faktoren wie der politischen Durchsetzbarkeit bestimmt. Für die Bewertung der **Effi-**

**zienz** einer Politik muss die durch diese Politik erreichte Emissionsminderung (die Effektivität der Politik) auf die aufgewendeten Mittel bezogen werden. Neben den gezahlten Prämien für die "Förderung der Güllelagerabdeckung" fallen auch administrative Kosten an, die berücksichtigt werden müssen. Für die Bewertung von Effektivität und Effizienz standen nicht alle notwendigen Informationen zur Verfügung. Diese Kriterien wurden daher nicht in die Bewertung einbezogen.

Die Bewertung der Kombinationen von politischen Instrumenten und technischen Ansatzstellen durch die Mitglieder der Arbeitsgruppe „Agrarstruktur und ökonomische Bewertung“ erfolgte auf einer kardinalen Skala von 1 bis 5, so dass eine Mittelwertbildung der Bewertungen der Politikmaßnahmen möglich ist.

In der umweltpolitischen Debatte wurden in der Vergangenheit vor allem Maßnahmen zur Verringerung der Stickstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft diskutiert. Um das Bild der Politiken aus den Bundesländer zu ergänzen, wird im Anhang ab S. 41A ein kurzer Überblick über solche Maßnahmen gegeben, die in der EU im Gespräch sind oder bereits durchgeführt werden. Die Ausführungen basieren auf einer vergleichenden Untersuchung von Brouwer und Hoogeveen aus dem Jahr 2000.

Tab. 8.2: Bewertung von Kombinationen aus politischen Instrumenten und technischen Ansatzstellen (Mittelwert aus 5 Antworten)<sup>1</sup>

Instrument und Ansatzstelle	adm. Umsetz- barkeit	Kon- trolle	Durch- setzbar- keit	Zielge- nauig- keit	Neben- effekte	Akzeptanz bei Kostenerstattung in Höhe von		
						100%	50%	0%
Subventionen und Prämien								
Emissionsarme Ställe	++	++	0	++	++	++	0	--
Subventionierung von Güllelager- abdeckungen	++	+	+	Ri: - Sch: +	++	++	-	-
Investitionsförderung für mehr Güllelagerkapazität	++	++	+	+	+	++	-	--
Investitionsförderung für Ausbrin- gungstechnik	++	+	+	+	.	++	0	-
Prämie/ha für emissionsmindernde Ausbringungstechniken	+	0	+	0	.	++	0	-
Beratung								
N-angepasste Fütterung	0	0	+	+	0	+	0	-
Ausbringungstechnik und –zeiten, klimabedingte Ausbringungsverluste	0	-	+	+	0	+	0	-
Verbote und Gebote								
Restriktive Stallbau-Genehmigung	++	++	-	0	.	-	-	-
Besatzdichteobergrenzen	+	0	-	+	.	-	-	-
Abdeckung von Güllelagern	++	++	-	Ri: - Sch: +	.	-	-	-
Mindest-Güllelagerkapazitäten	++	++	0	0	.	-	-	-
Gute fachliche Praxis der Wirtschafts- düngerausbringung (z.B. Einarbeitung)	0	-	0	+	.	-	-	-
Gülletechnik-TÜV	+	+	0	+	.	-	-	-
Gülleflächennachweis	+	0	0	+	.	-	-	-
Steuern und Abgaben								
N in Zukauffutter	-	-	--	0	.	-	-	-
Mineralischer N-Dünger	+	+	--	-	.	-	-	-
Min. N-Dünger sowie N in Zukauffutter	0	0	--	-	.	-	-	-
Betrieblicher N-Überschuss	0	-	-	0	.	-	-	-
Steuerliche Mehrbelastungen der Tier- haltung in Intensivgebieten	0	0	-	0	.	-	-	-
Begünstigung verbesserter Ausbrin- gungstechnik	+	+	+	0	.	-	-	-
Emissionsrechte								
einzelbetriebliche, handelbare NH <sub>3</sub> - Emissionsrechte auf regionaler Ebene	-	-	--	+	.	-	-	-

-- sehr schlecht / - schlecht / 0 mäßig / + gut / ++ sehr gut; . keine Angaben; Ri: bei Rindern, Sch: bei Schweinen

<sup>1</sup> Werte sind als Diskussionsgrundlage und nicht als abschließende Bewertung zu interpretieren

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben von Mitgliedern der Arbeitsgruppe „Agrarstruktur und ökonomische Bewertung“

Als geeignete Instrumente zeichnen sich nach den Bewertungsvorschlägen in Tabelle 8.2 vor allem Prämien und Auflagen ab. Beratung sollte besonders in solchen Bereichen ergänzend eingesetzt werden, in denen eine Kontrolle schlecht durchführbar ist, aber eine Chance auf freiwillige Umsetzung in der Praxis besteht. Dabei ist entscheidend, welche Betriebe durch eine Beratung erreicht werden können. Zusätzliche, umweltorientierte Beratungsaufgaben erfordern entsprechende Schulungen für die Berater. Zu klären ist auch, inwieweit die bestehenden Beratungssysteme mehr Beratung auf diesem Gebiet bei gleicher finanzieller Ausstattung tragen können und wie auch die privatwirtschaftlich organisierte Beratung einbezogen werden kann. Die Instrumente Steuern, Abgaben und Lizenzen wurden wesentlich schlechter bewertet, da entweder die administrative Umsetzung nur schwer möglich ist, oder weil bei der Kombination mit den vorgeschlagenen Ansatzstellen keine ausreichende Zielgenauigkeit erreicht wird. Letzteres ist vor allem bei den unterschiedlichen Optionen einer Stickstoffbesteuerung der Fall. Lizenzen werden aufgrund der Schwierigkeit einer einfachen, justiziablen Ammoniak-Emissionsberechnung und der damit verbundenen Kontrollprobleme als nicht durchführbar angesehen. Eine Ausnahme bildet eine mögliche steuerliche Begünstigung verbesserter Ausbringungstechnik, die allerdings nur steuerzahlende Betriebe besser stellt und dann wie eine Prämie wirkt.

Bei der Umsetzbarkeit können bei Maßnahmen mit Prämienzahlungen Finanzierungsprobleme auftreten, andererseits gibt es hier im Rahmen der einzelbetrieblichen Investitionsförderung und der Agrarumweltprogramme weitreichende Verwaltungserfahrungen. Obligatorische Auflagen lassen sich ohne Probleme in die Anforderungen an die gute fachliche Praxis integrieren, die im Rahmen der Düngeverordnung vom 26.1.1996 festgelegt wurde. Maßnahmen wie restriktivere Stallneubaugenehmigungen zur Regulierung der betrieblichen und regionalen Tierbesatzdichten können nur langfristig Wirkungen entfalten. Sie sind auf der Verwaltungsebene zwar leicht umzusetzen, gleichzeitig aber konfliktträchtig und nach Urteil der befragten Experten politisch nur schwer durchsetzbar (vgl. Tab. 8.2).. Die Durchsetzbarkeit wird erwartungsgemäß bei freiwilligen oder mit Prämien verbundenen Maßnahmen deutlich höher eingeschätzt. Die Akzeptanz wird dabei maßgeblich durch die Höhe der Prämien und der damit erreichten Kompensation entstehender Kosten gesteuert.

Bezüglich der Kontrolle zeigt sich deutlich, dass Ställe, bauliche Einrichtungen und Agrartechnik nach Einschätzung der befragten Experten leicht zu überprüfen sind. Managementmaßnahmen in der Fütterung und Dungausringung hingegen sind kaum zu kontrollieren. Dies gilt z. B. für die Frage, ob auf Gülleachweisflächen, die außerhalb eines Betriebes mit Gülleüberschüssen liegen, auch tatsächlich eine entsprechende Gülleausbringung stattfindet. Ebenso kann das Vorhandensein verbesserter Ausbringungsgeräte leichter überprüft werden als ihr ordnungsgemäßer Einsatz.

Die Nebeneffekte der Maßnahmen wurden nur in einigen Fällen mitbewertet. Als problematisch wird angesehen, dass eine reduzierte Ammoniak-Emission bei konstanten Stickstoffmengen aus der Tierhaltung gleichzeitig zu größeren Nitrat-Überschüssen im Sickerwasser und zu höheren Lachgas-Emissionen führen kann. Insbesondere bezüglich obligatorischer, regional begrenzter Auflagen wurden Wettbewerbsverzerrungen als Problem genannt. Bei unterschiedlichen Förderungsansätzen, z. B. für emissionsmindernde Ausbringungstechnik, kann als Nebeneffekt eine Doppelförderung auftreten, die durch kohärente Ausgestaltung der Maßnahmen zu vermeiden ist.

## 8.4 Vorschläge für zukünftige Politiken bei unterschiedlichem Emissions-Minderungsbedarf

Wie die Ausführungen in Kapitel 6.3 zeigen, wird das vorgegebene Ziel einer Unterschreitung von jährlich 550 Gg Ammoniak-Emissionen in Deutschland trotz veränderter Technologien und sinkender Tierbestände ohne zusätzliche politische Maßnahmen nach den Modellkalkulationen nur knapp oder nicht erreicht. Aufgrund des hohen Anteils der Tierhaltung an den gesamten Ammoniak-Emissionen in Höhe von ca. 80 % leitet sich ein politischer Handlungsbedarf zur Lenkung der künftigen Entwicklung in der Tierhaltung und im Wirtschaftsdüngermanagement ab.

Neben den Emissionen aus der Tierhaltung spielt auch die Entwicklung sonstiger Ammoniak-Emissionen eine Rolle, vor allem aus der Mineraldüngeranwendung. Hierzu wurden bereits Vorschläge über Restriktionen bezüglich des Einsatzes von festem Harnstoff und Ammoniumcarbonat durch die UN/ECE vorgelegt <sup>1</sup>.

Zur Einführung neuer, politischer Maßnahmen zur Ammoniak-Emissionsminderung sind einige prinzipielle Überlegungen zu beachten:

- Die Förderung von Maßnahmen sollte vor allem die anfängliche Verbreitung neuer Technologien und Verfahren unterstützen und unzumutbare Mehrbelastungen abfedern.
- Neue Standards zur "Guten Fachlichen Praxis" sollten zwischen allen beteiligten Seiten diskutiert werden. Ihre obligatorische Einführung ist möglichst langfristig anzukündigen, um Anpassungsprozesse zu erleichtern. Anfängliche Fördermaßnahmen können dann durch neu gesetzte Standards abgelöst werden.
- In Kapitel 6.3 wurde gezeigt, dass die Kostenwirksamkeit von Minderungsmaßnahmen steigt, wenn Maßnahmen nicht nur auf einer der drei Verfahrensstufen Stall, Lagerung und Ausbringung ansetzen. Emissionsminderungen in Stall und Lager können zu höheren Emissionen bei der Ausbringung führen, weshalb sich eine emissionsärmere Ausbringungstechnik in Betrieben mit optimierter Haltung und Lagerung besonders lohnt. Werden Emissionsminderungsmaßnahmen auf allen Stufen umgesetzt, steigt also die Gesamtwirkung der Maßnahmen<sup>2</sup>. Strategien zur Emissionsminderung sollten daher auf mehr als nur eine der Verfahrensstufen Stall, Lagerung und Ausbringung abzielen und die Einführung von umfassenden Verfahrenspaketen anstreben.
- Die Wirkungen der angestrebten Maßnahmen zur Ammoniak-Emissionsminderung auf andere Umweltziele, insbesondere auf den Wasserschutz und auf die Emission anderer Spurengase, sollten bei der Auswahl berücksichtigt werden. Ziel sollten integrierte Umweltstrategien sein, die alle wichtigen Umweltmedien und schädlichen Einflüsse berücksichtigen. Zu diesem Punkt können auf Grundlage der Ergebnisse des vorliegenden Forschungsprojektes aber noch keine abschließenden Aussagen getroffen werden.

Die Tabelle 8.3 gibt eine Übersicht über besonders leicht realisierbare politische Maßnahmen sowie darüber hinausgehende, mögliche Ansatzpunkte zur Ammoniak-Emissionsminderung. Kurzfristig umsetzbar sind vor allem Maßnahmen, deren Wirkungen eindeutig belegt sind und

---

<sup>1</sup> DRAFT PROTOCOL TO THE 1979 CONVENTION ON LONG-RANGE TRANSBOUNDARY AIR POLLUTION TO ABATE ACIDIFICATION, EUTROPHICATION AND GROUND-LEVEL OZONE, EXECUTIVE BODY FOR THE CONVENTION ON LONG-RANGE TRANSBOUNDARY AIR POLLUTION, Seventeenth session, Gothenburg (Sweden) 15 October 1999, Annex IX, B.)

<sup>2</sup> Eine Ausnahme stellt die N-angepasste Fütterung dar, die den Stickstoff-Umsatz auf allen Stufen verringert.



die nach den Ergebnissen der im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Berechnungen eine akzeptable Relation zwischen Kosten und Wirkung aufweisen. Des weiteren fallen hierunter Maßnahmen, die erst langfristig Wirkungen entfalten und daher eine entsprechend langfristige Implementierungsstrategie erfordern. Weitere mögliche, aber noch zu prüfende Maßnahmen betreffen Techniken und Verfahren, deren Wirksamkeit noch nicht ausreichend geklärt ist. Hier gibt es besonderen Forschungsbedarf.

Die Regulation der Viehbesatzdichten wird seit langer Zeit diskutiert und hat in der agrarpolitischen Debatte der letzten Monate verstärktes Interesse gefunden. Daher wurde dieser Komplex in den Block der kurzfristig umsetzbaren Maßnahmen aufgenommen. Die Ausgestaltung einer auf die Viehbesatzdichte abzielenden Politik hängt von der Definition regionaler Emissionshöchstgrenzen und der Anrechenbarkeit emissionsmindernder Maßnahmen ab. Hierbei spielt die Konkretisierung des "critical load"-Konzepts eine zentrale Rolle. Erst auf der Grundlage solcher Definitionen können die genaue Ausgestaltung von politischen Maßnahmen diskutiert werden und Analysen zur Politikfolgenabschätzung durchgeführt werden. Mehr Aufmerksamkeit sollte bei dieser Diskussion in Bezug auf Stickstoff-Überschüsse im allgemeinen und Ammoniak-Emissionen im speziellen einer zielorientierten Verknüpfung der betrieblichen und regionalen Besatzdichteziele sowie der Anrechenbarkeit von Gülleflächennachweisen gewidmet werden.

Eine starke Begrenzung der Viehbesatzdichte auf betrieblicher Ebene erscheint in vieharmen Regionen, in denen die "critical loads" nicht überschritten werden, wenig sinnvoll. Die Anerkennung von Gülleflächennachweisen für außerhalb des Betriebes liegende Ausbringungsflächen, wie dies bereits in der Praxis üblich ist, trägt hier zu einer Flexibilisierung bei. Regionale Besatzdichteziele sollten dort, wo es zu einer regionalen Überschreitung der "critical loads" kommt, langfristig verfolgt werden, z. B. über einen Baugenehmigungsstop für Stallneubauten. Dabei muß berücksichtigt werden, dass zwar die Ausbringung außerhalb einer Region stattfinden kann, Emissionen aus Stall und Lager aber regional anfallen. In solchen Regionen sollte daher auch die Anerkennung von Gülleflächennachweisen begrenzt werden.

Ein Gülleflächennachweis sollte nur für Flächen erfolgen können, die in Regionen mit einer Unterschreitung der "critical loads" liegen. Bei der Anrechnung von Flächen, die weit vom Betrieb bzw. Stall entfernt liegen, liegt es nahe, ergänzend einen Ausbringungsnachweis zu fordern, der durch überbetriebliche Institutionen erbracht werden sollte, z. B. durch Maschinenringe und Lohnunternehmen, die eine Lizenz für die überbetriebliche Gülleausbringung erhalten.

Tab. 8.3: Vorschläge für politische Maßnahmen zur Ammoniak-Emissionsminderung

Ansatzstelle	Instrument	Kontrolle	Bemerkungen
<b>Kurzfristig umsetzbare Maßnahmen</b>			
<b>Fütterung</b>			
N-angepasste Fütterung bei Schweinen und Geflügel	Beratung	Entfällt	weiterer Forschungsbedarf zur Fütterungsoptimierung
	Voraussetzung für baurechtliche Genehmigungen (statt Gülleflächennachweis)	Bei Fertigfutterzukauf: + bei Eigenmischung: -	Genehmigungen nur bei Nachweis über Fertigfutterzukauf
<b>Weidehaltung</b>			
Weidehaltung, besonders bei Milchvieh	Lange Weidehaltung als Auswahlkriterium für Investitionsförderung; ergänzt durch Agrarumweltprogramme; Flurneuordnung mit dem Ziel extensiver Weidesysteme; ggf. als neue, regional zu definierende GFP* nach Ankündigung	+	Möglichst hohe Dauer der Weidehaltung pro Tag sowie der Weideperiode insgesamt anstreben. Auch aus Gründen des Wasserschutzes möglichst verknüpfen mit extensiver Weidenutzung auf großen Flächen. Kleine, stallnahe Auslaufflächen, die keine Futterflächenfunktion erfüllen, sollten nicht gefördert werden.
<b>Lagerung</b>			
Abdeckung Schweinegüllelager (Zeltdach)	Neue GFP* nach Ankündigung, ggf. vorher Förderung	Feste Abdeckung mit Zeltdach: ++ Schwimmfolie/Stroh (Managementabhängigkeit): -	Feste Vorrichtungen wie Zeltdach aus Sicht der Kontrollierbarkeit sind zu bevorzugen, mögliche Nebenwirkungen wie erhöhte N <sub>2</sub> O- oder CH <sub>4</sub> -Emissionen sollten schnell quantifiziert und bewertet werden; Einführung dann auch kurzfristig möglich
Abdeckung Rindergüllelager (durch Schwimmdecke und Untenbefüllung des Lagers)	Neue GFP* nach Ankündigung	Untenbefüllung: ++ Häufigkeit und Zeitpunkt des Aufrührens: -	Einführung auch kurzfristig möglich; ergänzend Auflagen zu Häufigkeit und Zeitpunkt des Aufrührens (Zerstörung der Schwimmdecke, z. B. nicht im Sommer); feste Abdeckungen sind teuer und wenig wirksam
Güllelagerkapazität von 6 bis 9 Monaten	Aktuelle GFP*; ergänzend Förderung für Erweiterungen	++	Lagerkapazität unter Spaltenboden sollte nicht gefördert werden. Nach Übergangsfrist sollte bes. bei Schweinen nur max. ein Monat Lagerkapazität im Stall als anrechenbar gelten
	Beratung und Förderung überbetrieblicher Kooperation zur besseren Nutzung alter (und neuer) Güllelagerkapazität unter Einbeziehung kleiner und auslaufender Betriebe (bes. alte Länder Mitte und Süd)	++	Lagerkapazität wird gerade in kleinen, auslaufenden Betrieben nicht eingehalten, in denen sich Neuinvestitionen kaum lohnen. Überbetriebliche Lösungen können für eine bessere, langfristige Auslastung neuer Lagerkapazitäten sorgen.

Ansatzstelle	Instrument	Kontrolle	Bemerkungen
<b>Lagerung</b>			
Lagerung Geflügel-Trockenkot (unter Dach, ggf. vor Ausbringung am Feld mit wasserdichter Abdeckung)	Neue GFP* nach kurzfristiger Ankündigung	Unter Dach: + + Am Feld: +	
<b>Ausbringung</b>			
Emissionsarme Gülleausbringungstechnik: Schleppschlauch auf bestelltem Ackerland	Förderung, ggf. neue GFP*	Technik: + + Ordnungsgem. Anwendung: -	Als neue GFP* besonders in Schweine haltenden Betrieben sinnvoll
Emissionsarme Gülleausbringungstechnik: Schleppschuh auf Grünland	Förderung, als neue GFP* fraglich	Technik: + + Ordnungsgem. Anwendung: -	Als neue GFP* kritisch zu beurteilen, da Wirksamkeit umstritten und andere Techniken (verdünnte Gülle mit Breitverteiler) vorhanden
Unverzögliche Einarbeitung auf unbestelltem Ackerland (Gülle, Jauche, Geflügelkot oder stickstoffhaltige flüssige Sekundärrohstoffdünger)	Aktuelle GFP*	-	Bedingungen für <i>sofortige</i> Einarbeitung sollten klar definiert werden, z. B. nach Tagesempfehlung des Deutschen Wetterdienstes; Einarbeitung am nächsten Vormittag sollte aus Gründen der Kontrollierbarkeit und Wirksamkeit untersagt werden.
Überbetriebliche Gülle- und Trockenkotalausbringung	Förderung überbetrieblicher Kooperationen zur Gülle- und Trockenkotalausbringung durch Investitionsförderung, Beratung, Lizenzierung (s. u.)	+	Einführung neuer Techniken unter Nutzung von kostensenkenden Größen- und Auslastungseffekten; Organisation von kostengünstigen Arbeitsketten (Parallele Arbeitsverfahren zur Einarbeitung), Vermeidung der Kosten von Doppelmechanisierung
Ordnungsgemäße Wirtschaftsdüngerausbringung	Verpflichtung zur Beanspruchung von Beratung zur ordnungsgemäßen Wirtschaftsdüngerausbringung statt Bußgeld (bei Regelverstößen gegen die GFP* in minder schweren Fällen)	Teilnahme an Beratung: + +	Managementverfahren lassen sich besser durch Einsicht als durch Zwang einführen, der Vorschlag zeigt einen Mittelweg auf
<b>Regulation der Tierbesatzdichte</b>			
Regionale Besatzdichteobergrenzen	Voraussetzung für baurechtliche Genehmigungen und regionale Investitionsförderung	+ +	Berechnung nach GV verursacht Verzerrungen; besser N-Ausscheidung zugrunde legen und z. B. N-angepasste Fütterung und Milchleistung berücksichtigen
Betriebliche Besatzdichteobergrenzen	Voraussetzung für baurechtliche Genehmigungen und Förderung	+ +	Regionale Besatzdichteobergrenzen sinnvoller; Abstimmung mit Gülleflächennachweis

Ansatzstelle	Instrument	Kontrolle	Bemerkungen
<b>Regulation der Tierbesatzdichte</b>			
Betrieblicher Gülleflächen-nachweis	Voraussetzung für bau-rechtliche Genehmigungen und Förderung	Flächennach- weis: + + Ausbringungs- nachweis: - -	Zusammen mit regionalen Be-satzdichteobergrenzen sinnvoller und flexibler als betriebliche Obergrenzen; als einziges In-strument nicht sinnvoll, da Be-standskonzentrationen möglich bleiben und Emissionen aus Stall und Lager lokal auftreten.
Überbetriebliche Gülle- und Trockenkotalausbringung	Lizenzierung von überbe-trieblichen Kooperationen und Lohnunternehmern für die überbetriebliche Gülle- und Trockenkotalausbringung als Voraussetzung für die Anerkennung von Gülleflä-chennachweisen.	Nachweis durch überbetriebliche Institution; Aus-bringungsflächen und Mengen, Technik und Ver-fahren können stichprobenartig kontrolliert wer-den, bei Verstö-ßen droht Lizenz-entzug: +	Ausbringungsnachweis sollte durch Pflicht zu überbetrieblichen Lösungen erbracht werden; dabei sollte zur Innovationsverbreitung ein höherer Standard als die GFP* gefordert werden (z. B. Ausbringung nur auf unbestelltes Ackerland, nur mit Güllegrubber oder sofortiger Einarbeitung). Die Nachweispflicht sollte nur für weiter entfernte Flächen gelten, z. B. außerhalb der Gemeinde des betreffenden Stallbaus sowie der direkt angrenzenden Ge-meinden.
<b>Für alle Bereiche</b>	Information und Beratung zur aktuellen Definition der GFP*	0	Notwendig zur Schaffung von Akzeptanz und für die freiwillige Übernahme von Maßnahmen ins betriebliche Management

Ansatzstelle	Instrument	Kontrolle	Bemerkungen
<b>Weitere mögliche, aber noch zu prüfende Maßnahmen</b>			
<b>Fütterung</b>			
N-angepasste Fütterung bei Rindern	Beratung	entfällt	Weiterer Forschungsbedarf zur Fütterungsoptimierung und möglicher N-Reduktion
<b>Stallhaltung</b>			
Außenklimastall bei Mastschweinen	Investitionsförderung; Förderung als Bestandteil von tierschutzorientierten Qualitätsfleischprogrammen	+ +	weiterer Forschungsbedarf zur Systemoptimierung sowie zur Frage Gülle oder Einstreu
Rinnenbodenstall für Milchvieh, ggf. auch bei Mastbullen	Investitionsförderung; bei großen Beständen z. B. über 50 Tiere und ohne Weidegang ggf. als neue GFP* nach Ankündigung	+ +	weiterer Forschungsbedarf; optimierte Stallsysteme für Rinder lohnen sich besonders bei ganzjähriger Stallhaltung (große Milchviehbestände, Mastbullen)
<b>Lagerung</b>			
Festmistlagerung (Jauchebildung und -abfluss fördern, Mietenoberfläche möglichst gering halten, z. B. durch Seitenwände)	Neue GFP* nach Ankündigung; Förderung von Mistplatten mit Jaucheabfluss und von Jauchelagerung	mit baul. Einrichtungen: + + ohne baul. Einrichtungen: -	weiterer Forschungsbedarf
<b>Ausbringung</b>			
Sofortige Einarbeitung auf unbestelltem Ackerland (Festmist)	Neue GFP* nach Ankündigung	-	Sinnvoll nur nach optimierter Lagerung und bei <i>sofortiger</i> Einarbeitung (Parallele Arbeitsverfahren zur Einarbeitung)

\* GFP: "Gute Fachliche Praxis": Obligatorische Auflagen aus den landwirtschaftlichen Fachgesetzen sowie Anforderungen, die an die Vergabe von Fördermitteln geknüpft sind

Bewertung der Kontrolle: - - sehr schlecht / - schlecht / 0 mäßig / + gut / + + sehr gut

Bei der Umsetzung neuer Ansätze der "Guten Fachlichen Praxis" sollte einer fachlichen Diskussion im Vorfeld eine rechtzeitige Ankündigung von Änderungen bzw. einer Einführung mit Übergangsfristen folgen. Gleichzeitig sind ausreichende Information und Beratung zu gewährleisten. Die Flankierung einer solchen Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis durch Fördermittel sollte zeitlich befristet erfolgen. Da die bisherige Förderung im Bereich der Dunglagerung und -ausbringung sehr stark zwischen den Ländern variiert, wäre unter Wettbewerbsgesichtspunkten eine länderübergreifende Grobabstimmung nicht nur der Standards, sondern auch der Förderpolitiken wünschenswert. Dies kann z. B. Zeitziele betreffen, ab denen bestimmte Maßnahmen nicht mehr gefördert werden sollen.

Zur Umsetzung der aufgeführten, möglichen Maßnahmen sind gesetzliche Änderungen und Neufassungen notwendig, die an dieser Stelle nicht abschließend erörtert werden können. Während die Anforderungen an die Dungausrückungsverfahren in der DVO definiert sind und an neue Erkenntnisse angepasst werden können, werden Lagerkapazitäten nur indirekt über die Sperrzeiten für die Ausbringung reguliert. Die Vorschriften betreffend Fassungsvermögen

und Bauweise von Behältern zur Lagerung von Dung gemäß EU-Nitratrichtlinie (RL 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991), Anhang III Nr. 1.2, wurden durch entsprechende Verordnungen der Länder in deutsches Recht umgesetzt. Diesbezügliche Vorgaben beispielsweise zur Lagerabdeckung lassen sich derzeit also nicht bundesweit einheitlich über die DVO anpassen, sondern sind durch Änderungen der Länderverordnungen umzusetzen.

Die Bestimmungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) und des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) sollen durch ein Artikelgesetz novelliert werden (AgraEurope 2000). Mit dem geplanten Artikelgesetz will der Bundestag die UVP-Änderungsrichtlinie, die IVU-Richtlinie und weitere EG-Richtlinien zum Umweltschutz in deutsches Recht umsetzen (vgl. DLG-Mitteilungen 6/2001). In diesen Gesetzen werden Tierplatzzahlen für genehmigungspflichtige Tierhaltungsanlagen festgelegt, für die nach BImSchG erhöhte Anforderungen wie Mindestabstände und Verfahrensstandards festgelegt werden. Durch die derzeit diskutierten Regelungen würde die Genehmigungspflicht auf den Großteil der Tierhaltungsanlagen ausgedehnt. Daher wird künftig eine allgemein verbindliche Definition der guten fachlichen Praxis durch das Immissionsschutzrecht möglich. Die geplante Genehmigungsregelung stellt allerdings kein Instrument für eine bundesweit einheitliche Steuerung regionaler Viehbestandsdichten dar, vielmehr ist eine Einzelfallprüfung vorgesehen, bei der den Genehmigungsbehörden Ermessensspielräume gegeben werden. De facto kann es aber durch diese Gesetze schon heute zu Genehmigungsstops für Stallneubauten kommen, in jedem Fall aber werden Neubauvorhaben durch die Genehmigungsverfahren teurer. Entscheidend für die künftige Entwicklung ist die Frage, ob die Berücksichtigung der Umweltbelastung durch die bereits vorhandene, regionale Tierhaltung im Rahmen einer kumulativen Betrachtung im Rahmen von BImSchG-Genehmigungen vorgeschrieben wird. Haltungsverfahren oder die Bedeutung der Weidehaltung sind derzeit nicht per Gesetz allgemein verbindlich zu definieren; hier sollten daher zunächst andere Instrumente wie die einzelbetriebliche Investitionsförderung greifen.

Während der Bereich der Viehbesatzdichten und der Dunglagerung eher über Vorschriften zu regulieren ist, spielt bei der Fütterung und der Ausbringung das betriebliche Management eine wichtige Rolle. Daher sollte die Umsetzung emissionsmindernder Fütterungs- und Ausbringungsmaßnahmen vor allem durch Beratung und ggf. durch eine Verpflichtung zur Inanspruchnahme von Beratungsleistungen im Falle von erstmaligen Verstößen gegen die gute fachliche Praxis angestrebt werden. Fütterung sollte nur kontrolliert werden, wenn sie als relevanter Parameter in Genehmigungsverfahren eingeht.

Technische Vorschriften für die Ausbringung sind in unterschiedlichem Maße sinnvoll. Ein Verbot der Gülleausbringung mit Breitverteilterchnik wäre schwer zu begründen, weil es auch mit dieser Technik in Verbindung mit Gülleverdünnung oder sofortiger Einarbeitung emissionsmindernde und dazu sehr kostengünstige Verfahrensvarianten gibt. In Schweine haltenden Betrieben wird i. d. R. ein so großer Teil der Gülle auf bewachsene Ackerflächen ausgebracht, dass Schleppschlauchtechnik als künftiger Standard in Frage kommt. In Rinder haltenden Betrieben kommt bisher vor allem die Schleppschuhtechnik als emissionsmindernde neue Technik in Frage. Diese ist allerdings vergleichsweise teuer und nicht geeignet für Ackerflächen. Wie das Beispiel der Förderung in Bayern in Kapitel 8.1 zeigt, gibt es bei emissionsmindernden Ausbringungstechniken auf Grünland erhebliche Akzeptanzprobleme. Die Definition künftiger Standards der Gülleausbringung auf Grünland erfordert daher weitere Forschung und fachliche Diskussionen.

## 9 Ausblick

### 9.1 Datenerhebungsbedarf

Ein erheblicher Anteil der für die differenzierten Emissionsberechnungen benötigten Daten über Haltungsverfahren, Fütterung, Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung wurde, da abgesicherte statistische Daten fehlen, durch die Hochrechnung von Befragungsergebnissen aus Modellregionen geschätzt (vgl. Kap. 2.2.2). In Kapitel 4.3 sowie 6.2 konnte deutlich gemacht werden, dass die Annahmen zu Techniken und Verfahren einen erheblichen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse haben. Eine nach Techniken und Verfahren differenzierte Emissionsberechnung ist genauer als Rechenverfahren, die mit pauschalen E-Faktoren pro Tier arbeiten, und kann auch Veränderungen im Zeitablauf, z. B. aufgrund von Politiken zur Ammoniak-Emissionsminderung, besser abbilden. Voraussetzung für den differenzierten Berechnungsweg ist jedoch eine abgesicherte statistische Datenbasis.

Im Tabelle 9.1a werden Merkmale aufgeführt, die künftig Bestandteil regelmäßiger, statistischer Erhebungen sein sollten:

Tab. 9.1a: Künftig zu erhebende, statistische Merkmale in der Tierhaltung und im Wirtschaftsdüngermanagement

Merkmal	Milchvieh	andere Rinder	Mast-schweine	Sauen	Legehennen	sonstiges Geflügel	Schafe Pferde
Mist-/ Güllesystem	Xr1	Xr1	Xr1	Xr1			
Stallhaltungsformen	Xr2	[Xr2]	Xr2		Xr2		
Weidehaltungsdauer	Xr2 (e/g)	Xr2 (e/g)					[Xr2]
N-angepasste Fütterung			Xe/h	Xe/h	Xe/h	Xe/h	
	Rinder		Schweine		Geflügel		
Güllelagerkapazität	Xr1 (e/g)		Xr1 (e/g)				
Güllelagerabdeckung	[Xr2 (e/g)]		Xr2 (e/g)				
Gülleausbringungs-technik	Xr2 (e/h)		Xr2 (e/h)				
Wirtschaftsdünger-ausbringung nach Jahreszeiten	Xe		Xe		Xe		[Xe]
Wirtschaftsdünger-ausbringung nach Flächennutzung *	Xe		Xe		Xe		[Xe]

X: Erhebung notwendig;[X]: Erhebung kann ggf. entfallen

r: Erhebung im Rahmen der Repräsentativerhebungen der statistischen Ämter;

r1: Erfassung ist bereits Bestandteil der Repräsentativerhebungen;

r2: Erfassung sollte in die Repräsentativerhebung aufgenommen werden; alternativ dazu werden in Klammern sind andere Erhebungsmethoden vorgeschlagen

e: Erhebung durch Befragung regionaler Experten (entsprechend der Modellkreisbefragung oder Standarderhebung bei Landwirtschaftsämtern und –verwaltungen)

g: Erhebung im Rahmen von Stallbaugenehmigungsverfahren, Fördermaßnahmen (Investitionsförderung) und bei der Prüfung der Einhaltung der guten fachlichen Praxis (durch Landwirtschaftsämtern und –verwaltungen)

h: Erhebung durch Befragung von Herstellern und Handel für Vorleistungsprodukte (z. B. N-reduzierte Futtermischungen, verbesserte Gülleausbringungstechnik)

Angaben in Klammern () weisen auf mögliche, alternative Erhebungsmethoden hin

\* Flächennutzung differenziert nach bestellttem und unbestelltem Ackerland, Grünland

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Die Erfassung von Mist- oder Güllesystemen sollte bei Rindern und Schweinen mit den Stallhaltungsformen verknüpft werden. Bei der Weidehaltung geht es sowohl um die Frage der täglichen Dauer des Weidegangs als auch um die Länge der jährlichen Weideperiode. Die Verbreitung N-angepasster Fütterung lässt sich nur schwer abfragen, sie erfordert genauere Verfahrensdefinitionen sowie eine klare Abgrenzung gegenüber Standardverfahren. Die Güllelagerkapazität und Ausbringungstechniken sind dagegen vergleichsweise einfach zu erfassen. Sollte die Abdeckung der Güllelager verpflichtend vorgeschrieben werden, kann eine zusätzliche Erfassung der Abdeckung entfallen. Die Verteilung von Mist, Gülle und Jauche sollte gleichzeitig nach Jahreszeiten und nach der Nutzungsart der Ausbringungsfläche anhand von Schätzungen der landwirtschaftlichen Betriebsleiter erhoben werden.

In der Vergangenheit wurden im Rahmen einer Repräsentativerhebung durch die statistischen Ämter der Anfall von Festmist und Gülle in landwirtschaftlichen Betrieben sowie die Güllelagerkapazität erhoben. Die Erfassung von Festmist- und Gülleanfall erfolgte aber nicht differenziert nach einzelnen Tierklassen. Für die anderen, in der Tabelle genannten Merkmale gibt es bisher keine statistischen Erhebungen.

Um künftig die benötigten, statistischen Daten regelmäßig zu erfassen, stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung:

- Erweiterung und Anpassung der Repräsentativerhebung im Rahmen der Landwirtschaftszählung der statistischen Ämter
- Zusatzfragebogen zur Erhebung der Betriebsabschlüsse im Testbetriebsnetz
- weiterentwickelte Experteninterviews in ausgewählten Regionen (entsprechend der Befragungen in den Modellregionen)
- Standarderhebung bei Landwirtschaftsämtern und -verwaltungen
- Erhebung im Rahmen von Stallbaugenehmigungsverfahren, Fördermaßnahmen (Investitionsförderung) und bei der Prüfung der Einhaltung der guten fachlichen Praxis sowie Auswertung und Zusammenfassung auf Länderebene durch Landwirtschaftsämtern und -verwaltungen

Leicht zu beantwortende Fragen können in die Repräsentativerhebung oder auch in die Testbetriebsnetz-Erhebung übernommen werden, wobei eine Konzentration auf die wichtigsten Fragen unumgänglich erscheint. Gerade bei Zusatzfragen im Rahmen der Testbetriebsnetz-Buchführung muß davon ausgegangen werden, dass die Möglichkeit einer Erweiterung begrenzt ist, da ohnehin schon eine große Datenmenge erfasst wird, und dass es hierbei keine mit der Repräsentativerhebung vergleichbare fachliche Betreuung durch Befrager gibt. Daher sollte die Erfassung einfacher Fragestellungen z. B. über die Repräsentativerhebung durchgeführt werden; in Anlehnung an die Periodizität der Landwirtschaftszählung sollte eine Erhebung nur alle 4 Jahre stattfinden.

Die Erhebung der Ausbringungsverfahren, insbesondere von Zeiten und Flächennutzung, kann schnell zu umfangreichen Abfragen führen, die den Rahmen einer einfachen Zusatzbefragung sprengen. Bei solchen komplexeren Fragestellungen spielt auch der Dialog zwischen Befragern und Befragten eine wichtigere Rolle, weshalb hier eine Weiterentwicklung der Experteninterviews sinnvoll erscheint. Befragungen könnten weiterhin begrenzt auf ausgewählte Kreise durchgeführt werden, wobei die Zahl der Modellregionen erhöht werden sollte. Eine Standard-Befragung der Agrarverwaltungen könnte hingegen flächendeckend durchgeführt werden. Auf-



bauend auf die während der Befragungen in Modellregionen gemachten Erfahrungen könnten für die einfachen sowie für die komplexeren Fragestellungen Fragebögen entwickelt werden, die zusammen eine besser abgesicherte Datengrundlage für künftige Berechnungen liefern würden.

Voraussetzung für zeitnahe regionale Berechnungen ist die Verfügbarkeit der statistischen Grundlagendaten, besonders aus der Viehzählung. Im März 2001 lagen noch keine endgültigen Kreisergebnisse aus der Viehzählung im Mai 1999 vor. Künftig wäre eine schnellere Verfügbarkeit dieser Daten wünschenswert. Ein weiteres Problem stellen durch Datenschutz bedingte Lücken in der Kreisstatistik dar, wenn bei einem Merkmal die Mindestzahl von Betrieben nicht erreicht wird. Dies ist insbesondere in der Geflügelhaltung der Fall. Regionale Berechnungen können dann nur noch mit geschätzten Daten erfolgen. Seit dem Jahr 1999 wird der Erhebungsbereich für die Viehzählung neu definiert, wodurch kleine viehhaltende Betriebe aus der Erhebung fallen. Hierdurch ergeben sich etwas niedrigere Viehzahlen, gleichzeitig entstehen vermehrt durch Datenschutz bedingte Datenlücken. Sinnvoll wäre es, für den internen Amtsgebrauch im Rahmen der Emissionsberechnungen vollständige Datensätze zur Verfügung zu stellen. Die Auswirkungen der veränderten Erhebungsmethode sollten abgeschätzt werden, sobald vollständige Daten aus dem Jahr 1999 vorliegen, wobei insbesondere auf regionale Abweichungen sowie Differenzen bei bestimmten Tiergruppen, z. B. Pferden, geachtet werden muss. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten bei der Interpretation von Zeitreihendaten berücksichtigt werden.

Für die Erstellung einer einheitlichen Datenbasis sollte die Repräsentativerhebung durch die statistischen Ämter um die Erfassung der Stallhaltungsformen und der Weidedauer ergänzt werden. Auch die Güllelagerabdeckung und die genutzte Gülleausbringungstechnik sollte in diese Erhebung einbezogen werden. Bei allen diesen Merkmalen handelt es sich um leicht zu erfassende Kriterien. Sollte der Fragenumfang der Ämter nicht erweitert werden können, können Güllelagerabdeckung und Ausbringungstechnik auch durch die in Tabelle 9.1a genannten alternativen Erfassungsmethoden erhoben werden, wobei aber Abstriche bei der Repräsentativität der Ergebnisse gemacht werden müssen. Für die vergleichsweise komplizierte Erhebung der nach Jahreszeit und Flächennutzung differenzierten Wirtschaftsdüngerausbringung sind Expertenbefragungen geeignet. Bei der N-angepassten Fütterung ist neben Expertenbefragungen auch eine Erfassung spezieller, N-reduzierter Futtermischungen auf der Herstellungs- und Handelsstufe möglich.

In Tabelle 9.1b wird eine Prioritätensetzung der zu erfassenden Merkmale vorgeschlagen, die auf Grundlage der Bedeutung der Verfahrensbereiche für die gesamten Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung (vgl. Tab. 4.8, S. 104) und auf Sensitivitätsanalysen aufbaut (vgl. Tab. 4.11, S. 118). Für die Durchführung detaillierter Emissionsberechnungen müssen zu allen benötigten, statistischen Merkmalen erhobene Daten, Expertenschätzungen oder plausible Annahmen vorliegen. Je nach verfügbaren Mitteln für die Erhebungen müssen weniger wichtige Merkmale durch Expertenbefragungen oder Schätzungen ergänzt werden.

Tab. 9.1b: Prioritätenliste der zu erhebenden, statistische Merkmale

Merkmal	Milchvieh	andere Rinder	Mast-schweine	Sauen	Legehennen	sonstiges Geflügel	Schafe Pferde
Mist-/ Güllesystem	++	++	++	+			
Stallhaltungsformen	++	++	++	+	+		
Weidehaltungsdauer	++	++					0
N-angepasste Fütterung			++	+	+	+	
	Rinder		Schweine		Geflügel		
Güllelagerkapazität	++		+				
Güllelagerabdeckung	0		++				
Gülleausbringungs-technik	++		++				
Wirtschaftsdünger-ausbringung nach Jahreszeiten	++		+		+		0
Wirtschaftsdünger-ausbringung nach Flächennutzung	++		+		+		0

Bedarf an genauen statistischen Daten: Leerzelle = kein Bedarf; 0 = mittlerer Bedarf; + = hoher Bedarf; ++ = sehr hoher Bedarf

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Zur Berechnung der Emissionen im GAS-EM müssen die Flächen der relevanten organischen Böden erfasst werden. Auch müssen die indirekten Emissionen aus dem N-Leaching ermittelt werden.

## 9.2 Forschungsbedarf

### Emissionsfaktoren und Weiterentwicklung technischer Verfahren

Die zur Berechnung der Gesamtemissionen verwendeten Emissionsfaktoren aus der Haltung, Lagerung und Ausbringung basieren zum Teil auf einer sehr unzureichenden Datengrundlage. In der folgenden Tabelle 9.2 sind für die verschiedenen Bereiche in der Tierhaltung der Forschungsbedarf (Grundlagenforschung und Untersuchung vorhandener Technik), der baulich/technische Entwicklungsbedarf (Weiterentwicklung vorhandener Techniken und Neuentwicklungen) und der Umsetzungsbedarf (Transfer des vorhandenen Wissens in die Praxis) dargestellt.

Insbesondere im Bereich der Haltungsverfahren besteht noch erheblicher Forschungsbedarf (vgl. Tab 9.2). Hierbei geht es neben Ermittlung der Ammoniak-Emissionen verstärkt um die Erforschung der Emissionen der klimawirksamen Gase Methan und Lachgas und deren gegenseitigen Beeinflussung bei verschiedenen Minderungsmaßnahmen. Auch im Hinblick auf die zukünftig zu erwartenden Anforderungen an die artgerechte Haltung von Schweinen und Lege-

hennen müssen weitere emissionsmindernde Haltungsverfahren erforscht und die technische Entwicklung zur Minderung der Emissionen vorangetrieben werden.

Im Bereich der Fütterung sind die Techniken für eine N-angepasste Fütterung vorhanden (Multiphasenfütterung, TMR). Die daraus resultierende Reduktion der Ammoniak-Emissionen kann als gesichert angenommen werden. Hier gilt es, die Erkenntnisse der N-angepassten Fütterung in die Praxis umzusetzen. Bei der Rinderfütterung führt die Bedeutung der Grundfutterkomponenten mit unterschiedlichen Nährstoffzusammensetzungen und die hohe Variabilität der Rationen im Vergleich zur Schweinehaltung allerdings zu größeren Schwierigkeiten, Fütterungsstrategien zur N-Minderung umzusetzen. Hier besteht ein Bedarf an der Entwicklung von betriebsindividuellen Beratungsempfehlungen.

Bei der Lagerung liegt der Forschungsbedarf ähnlich wie bei den Haltungsverfahren im Bereich der klimawirksamen Gase (s. Tab. 9.2). Bei den Gülleverfahren sind die Emissionen aus dem Güllekeller unter Spalten noch genauer zu erforschen. Bei der Lagerung von Festmist sind neben der Ermittlung der Ammoniak-Verluste auch die Verluste von Methan und Lachgas von Bedeutung.

Als kosteneffizienteste Maßnahme zur Reduzierung der Ammoniak-Verluste können im Bereich der Schweinehaltung die einfachen Abdeckungsverfahren angesehen werden. Auch hier gilt den klimawirksamen Gasen weiterer Forschungsbedarf.

Die zur Zeit verfügbaren Behandlungsverfahren für Flüssig- und Festmist sind ebenfalls weitgehend untersucht. Insbesondere bei Flüssigmist wäre es gut, Zusätze zu haben, welche die Emissionen im Stall minimieren. Da Festmist eine große Emissionsquelle darstellt, sollte hier versucht werden, Behandlungsverfahren zu finden, bei der während der Lagerung und der Ausbringung der Stickstoff fest gebunden wird, so dass nur noch geringe Emissionen entstehen.

Zur Ausbringung von Rindergülle auf wachsende Bestände liegen derzeit noch wenig Erkenntnisse vor. Hingegen sind die Minderungsmöglichkeiten bei der Ausbringung von Schweine- und Rindergülle auf unbewachsene Böden sehr hoch. Diese Erkenntnisse sind in die Praxis umzusetzen.

Des weiteren besteht Forschungsbedarf für folgende Punkte:

- Untersuchungen zur Umsetzung von Stickstoff, insbesondere der organisch gebundenen Fraktion, im Stall und während der Lagerung (Flüssigmist, Festmist)
- Höhe und Zusammensetzung der N-Fraktion in Abhängigkeit von Tierart, Leistung und Fütterung
- Umstellung der E-Faktoren auf einen konsequenten Bezug auf TAN, Wechsel der Bezüge auf Gesamt-N und TAN sollten vermieden werden.

Tab. 9.2: Künftiger Forschungs-, Entwicklungs- und Umsetzungsbedarf im Bereich der Haltungsverfahren, Fütterung, Lagerung, Behandlung und Ausbringung

Haltungsverfahren	Bedarf für		
	Forschung	Techn. Entwicklung	Umsetzung
Mastschweine	++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>	+
Zuchtschweine	++ <sup>1</sup>	+ <sup>1</sup>	n.b.
Milchvieh	++	++	n.b.
Färsen	++	++	n.b.
Andere Rinder	++	++	n.b.
Pferde	0		
Schafe	0		
Geflügel			
Legehennen	++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>	-
Mastgeflügel	+ <sup>2</sup>	+ <sup>2</sup>	-
<b>Fütterung</b>			
Mastschweine	-	0	+
Zuchtschweine	-	0	++
Milchvieh	-	0	+
Färsen	-	0	+
Andere Rinder	-	0	+
Geflügel	-	0	0
<b>Lagerung</b>			
Flüssigmist			
Rind	0/+ <sup>3, 4</sup>	-	0
Schwein	0/+ <sup>3,4</sup>	-	+
Festmist			
Rind	++ <sup>1</sup>	n.b.	n.b.
Schwein	++ <sup>1</sup>	n.b.	n.b.
Schaf	-	-	-
Pferd	-	-	-
Mastgeflügel	+	n.b.	
Trockenkot	+	0	0/+
<b>Behandlung</b>			
Flüssigmist			
technisch	-	0	-
Zusätze	+	0	-
Festmist			
technisch	-	++	-
Zusätze	+	++	-
Trockenkot	+	0	0
<b>Ausbringung</b>			
Flüssigmist			
Schwein + Rind, unbew. Boden	-	-	++
Schwein, wachs. Bestände	0	0	++
Rind, wachs. Bestände	++	++	+
Festmist + Trockenkot			
unbewachsener Boden	-	-	++
wachsende Bestände	0	+	-

- = kein Bedarf; 0 = mittlerer Bedarf; + = hoher Bedarf; ++ = sehr hoher Bedarf; n.b. = nicht bestimmbar

<sup>1</sup> sehr hoher Bedarf wegen zu erwartender Anforderungen an die artgerechte Haltung; <sup>2</sup> nur in Regionen mit hoher Mastgeflügelkonzentration; <sup>3</sup> noch für Lagerung im Güllekeller unter Spalten; <sup>4</sup> Bedarf noch für klimawirksame Gase

## Weiterentwicklung der Modelle

Für die modellgestützten Emissionsberechnungen und Politikfolgeabschätzungen sollten künftig die folgenden Weiterentwicklungen vorgenommen werden:

- Verbesserung der Abbildung der Einkommenswirkungen von Emissions-Minderungsmaßnahmen
- bessere Abbildung von Minderungsstrategien im Modell RAUMIS durch Einbeziehung von Emissionsminderungsmaßnahmen in den Optimierungsteil des Modells
- Analyse zu regionalen Emissionsminderungszielen
- Untersuchung regionaler Politiken zur Emissionsminderung
- Untersuchung der Wirkungen von Maßnahmen zur Ammoniak-Emissionsminderung auf die N-Überschüsse und die potentielle Nitratauswaschung
- Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der Emission unterschiedlicher Spurengase und Abbildung dieser Zusammenhänge in Modellen

## 10 Zusammenfassung

Gasförmige Emissionen aus der Landwirtschaft sind an verschiedenen Umwelteffekten beteiligt. Insbesondere Ammoniak, bei dem die Landwirtschaft bzw. die Tierproduktion Hauptemittent ist, steht aufgrund seiner versauernden und eutrophierenden Wirkung in der Diskussion. Im Rahmen von regionalen Abkommen wie dem Multikomponentenprotokoll der UN/ECE und der NEC - Richtlinie der EU wurden nationale Emissionsobergrenzen für Ammoniak beschlossen. Deutschland hat sich in diesen Abkommen verpflichtet, seine Ammoniak-Emissionen bis zum Jahr 2010 auf 550 Gg (1 Gigagramm = 1000 Tonnen) zu reduzieren. Im Kyoto-Protokoll wird die Höchstmenge der Treibhausgasemissionen festgelegt. Die sind in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ausgedrückt. Zu den Treibhausgasemissionen trägt die Landwirtschaft bei N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> in so erheblichen Mengen bei, dass eine exaktere Quantifizierung der Emissionen als bisher und die Identifikation emissionsmindernder Maßnahmen zu erwarten sind. Welche Beiträge hier zu erwarten sind, ist allerdings noch nicht festgelegt.

Die eingegangenen Verpflichtungen stellen aus umweltpolitischer Sicht eine Chance dar. Allerdings basiert sowohl die Ermittlung der Emissionsobergrenzen als auch die der tatsächlichen Emissionsströme sowie deren Prognosen bislang auf einem stark simplifizierenden Berechnungsverfahren, bei dem Tierzahlen einzelner Tierarten mit den artspezifischen Emissionsfaktoren multipliziert wurden. Da die NH<sub>3</sub>-Emissionen jedoch von einer Vielzahl von Faktoren, wie z.B. der Stall- und Weidehaltung, der Art der Güllelagerung und -ausbringung abhängt, ist diese Berechnungsmethode weder in der Lage die derzeitigen Emissionen akkurat abzubilden noch zukünftige Anpassungen im Hinblick auf den technischen Fortschritt darzustellen.

Ziel des Projekts "Landwirtschaftliche Emissionen" war es daher, die für den Agrarbereich bisher verwendeten Methoden der Emissionsberechnung so weiterzuentwickeln, dass die Inventare hinsichtlich der Zuverlässigkeit der erhaltenen Werte und ihrer räumlichen Auflösung ihren Verwendungszwecken und den Anforderungen der internationalen Berichtspflichten entsprechenden, den notwendigen Datenbedarf zu ermitteln und in einer ersten Anwendung eine Neuberechnung der Emissionen von 1990, sowie Prognosen für das Jahr 2010 zu erstellen. Zudem sollten Wirkungen und Kosten von Maßnahmen zur Reduktion von Ammoniak-Emissionen bewertet werden.

Folgende Arbeitsschritte waren hierbei von besonderer Bedeutung:

- Für eine verbesserte Berechnung ist die Ermittlung partieller Emissionsfaktoren zur Beschreibung der einzelnen Quellen von Spurengasemissionen innerhalb einer Produktionskette für alle relevanten Tierkategorien und für die in Deutschland gängigen oder zu erwartenden Haltungsverfahren notwendig. Da bislang keine langjährigen und allgemein anerkannten Messergebnisse vorliegen, wurde mit der KTBL-UBA-Experten-Arbeitsgruppe "Emissionsfaktoren und Emissionsminderungsmaßnahmen" aus existierenden Untersuchungen konsensfähige Werte für die Bereiche Stallhaltung, Weidegang, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern sowie Mineraldüngerausbringung abgestimmt.
- Um die in der Officialstatistik fehlenden Angaben zu einzelnen Tierhaltungsverfahren (Haltungsform, Fütterung, Güllelagerung und Ausbringung) zu ermitteln, wurden Daten in 11 Modellkreisen bei Landwirtschaftskammern und Beratern erhoben.
- Für ausgewählte Verfahren der Tierhaltung, Güllelagerung und Ausbringung erfolgte eine Berechnung der betrieblichen Kosten.

- Die für die Prognose der Emissionen notwendigen Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Tierbestandszahlen, sowie des technischen Fortschritts und um potentielle Politikinstrumente zur Umsetzung von Minderungsmaßnahmen zu bewerten wurde die FAL-BMVEL Arbeitsgruppe ("Agrarstruktur und ökonomische Bewertung") eingesetzt.
- Für alle im EMEP-CORINAIR-Guidebook im Kapitel „Landwirtschaft“ zusammengestellten Verfahren zur Berechnung von Emissionen wurde im Laufe der Überarbeitung dieses Kapitels ein Satz von Excel-Kalkulationstabellen entwickelt, die sowohl nach der einfachen als auch der detaillierten Methode nach den Vorgaben des Guidebook Emissionsströme für Ammoniak, Lachgas, Stickstoffmonoxid und Methan zu ermitteln gestatten. Diese zum Programm GAS-EM (Gaseous-Emissions) zusammengestellten Tabellen wurden auf die spezifisch deutschen Verhältnisse angewandt und dokumentiert.
- Zur Berechnung der Ammoniak-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft wurden zwei Modelle eingesetzt:  
Das auf Excel basierte Kalkulationsprogramm GAS-EM, mit dem die Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in den letzten Jahren ermittelt wurden und mit dem auch eine Berechnung anderer  $\text{NH}_3$ -Quellen sowie die Kalkulation weiterer Spurengasemissionen möglich ist. Das Agrarsektormodell RAUMIS mit dem Flächennutzung, Tierhaltung und eine Vielzahl weiterer statistischer Quellen zu einer konsistenten Abbildung der deutschen Landwirtschaft zusammengeführt werden. RAUMIS wurde neben den ex-post Berechnungen der Ammoniak-Emissionen insbesondere für die Emissionsprognose sowie Kostenberechnungen und Sensitivitätsanalysen benötigt.

Die Ergebnisse der Studie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Für das Basisjahr 1990 wurden **Ammoniak-Emissionen** von 610 Gg aus der Tierhaltung berechnet. In den folgenden Jahren sanken die Emissionen, insbesondere aufgrund des starken Tierbestandsabbaus in den neuen Ländern, um rund 23 % auf 470 Gg im Jahr 1995. Bis 1999 (466 Gg) ändern sich die Emissionen nur noch geringfügig, da die Tierzahlen in diesem Zeitraum relativ stabil blieben. Verglichen mit den Ergebnissen des Standard-Berechnungsverfahrens nach EMEP/CORINAIR liegen die mit GAS-EM und RAUMIS berechneten  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der Tierhaltung um bis zu 20 % niedriger. Dies ist vor allem auf die gegenüber dem Standardverfahren stärkere Differenzierung der Emissionskalkulation zurückzuführen, die eine Berücksichtigung der aktuell eingesetzten Verfahren in der Tierhaltung und im Wirtschaftsdüngermanagement ermöglicht.

Zur Abschätzung der Emissionen für das Jahr 2010 wurden verschiedene Annahmen zu Tierbestandsentwicklung und technologischem Wandel getroffen: Unter der Annahme kontinuierlichen technologischen Wandels und stark verringerter Tierbestände sinken die Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung bis zum Jahr 2010 auf rund 419 Gg. Bei ebensolchem technologischen Wandel und weniger stark zurückgehenden Tierbeständen ist immerhin noch ein Rückgang auf 434 Gg  $\text{a}^{-1}$   $\text{NH}_3$  zu erwarten. Findet jedoch zwischen dem Jahr 2000 und 2010 kein emissionsmindernder technologischer Wandel mehr statt, sind im Jahr 2010 Emissionen von 461 Gg  $\text{a}^{-1}$   $\text{NH}_3$  aus der Tierhaltung zu erwarten. Unter Berücksichtigung der Emissionen aus anderen Quellen von 100 bis 140 Gg  $\text{a}^{-1}$  wäre in diesem Fall die von Deutschland eingegangene Verpflichtung zu einer Reduktion der  $\text{NH}_3$ -Emissionen auf 550 Gg im Jahr 2010 nicht einzuhalten.

Um das Reduktionsziel mit Sicherheit zu erreichen, sollten daher gezielte Emissions-

Minderungsmaßnahmen umgesetzt werden. Zur Berechnung verschiedener Minderungsszenarien müssen zunächst die Minderungspotentiale und -kosten verschiedener Maßnahmen analysiert werden. Als besonders geeignete Ansatzstellen für die Ammoniak-Emissionsminderung erwies sich bei allen Tierarten die unverzügliche Dungeinarbeitung nach der Ausbringung. Bei Schweinen sind zudem die Güllelagerabdeckung und die N-angepasste Fütterung zu nennen, bei Geflügel ist vor allem Kottrocknung von Bedeutung. Obgleich Maßnahmen bei Rindern aufgrund ihres hohen Anteils an den Gesamtammoniak-Emissionen ein hohes Minderungspotential aufweisen, begrenzen hohe Kosten und mangelnde technische Anwendungsreife die Umsetzung.

Mit einer Emission von  $461 \text{ Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$  als Referenzsituation wurden drei unterschiedliche Szenarien zur Ammoniak-Emissionsminderung für das Jahr 2010 berechnet: Szenario 1 beschreibt eine „realistische Minimalminderung“, bei der angenommen wird, dass durch Förderung nur begrenzte Umstellungsraten auf emissionsmindernde Technologien zu erzielen sind. Im zweiten Szenario wird eine „realistische Maximalminderung“ mit obligatorischen Auflagen für die Tierhaltung und höheren Umsetzungsraten für emissionsmindernde Technologien angenommen. Eine „relativ unrealistische Maximalminderung“ wird in Szenario 3 definiert. Zu den Annahmen aus Szenario 2 kommen unter anderem eine stärkere Umsetzung verbesserter Fütterung und unmittelbarer Einarbeitung hinzu.

Tab. 10.1: Ergebnisse der Umsetzung von Emissionsminderungsszenarien im Vergleich zur Referenzsituation

	NH <sub>3</sub> - Emissionen im Jahr 2010	Emissionsminderung gegenüber der Referenz		Kosten im Vergleich zur Referenz	Kostenwirksamkeit
Szenario	Gg a <sup>-1</sup>	Gg a <sup>-1</sup>	%	Mio. DM (nur für Rinder und Schweine)	DM/kg NH <sub>3</sub> Reduktion
<b>Referenz</b>	461				
<b>Szenario 1</b>	429	32,1	7	296	11,9
<b>Szenario 2</b>	411	50,5	11	569	12,3
<b>Szenario 3</b>	390	71,0	15	631	10,1

*Berechnungen: RAUMIS*

Die Bewertung politischer Instrumente (Auflagen, Förderung etc.) zur Umsetzung der Minderungsmaßnahmen erfolgte im Hinblick auf die Kriterien: Wirksamkeit, administrative Umsetzbarkeit und Kontrollierbarkeit, Akzeptanz und Zielgenauigkeit. Politische Maßnahmen die zur Emissionsminderung als besonders geeignet bewertet wurden sind:

- Auflagen zur festen Abdeckung von Güllelagern, ev. mit Förderung in Übergangsfristen,
- Weiterentwicklung der "guten fachlichen Praxis" und des "Standes der Technik" insbesondere im Hinblick auf die Gülleausbringung,
- Beratung bei Maßnahmen, die im Eigeninteresse des Landwirtes liegen, deren Verbreitung aber durch mangelnde Managementkenntnisse begrenzt wird (z.B. N-angepasste Fütterung).

Im Hinblick auf die Umweltwirkungen des Ammoniaks wird in Zukunft die regionale Konzentration in der Tierhaltung eine bedeutende Rolle spielen. Hohe regionale Umweltbelastungen kön-



nen durch Tierbestandsabstockungen in Intensivregionen reduziert werden. Zu berücksichtigen ist, dass der Export von Wirtschaftsdünger in andere Regionen derzeit als Flächennachweis in viehstarken Betrieben anerkannt wird. Daher ist der überregionale Transport von Wirtschaftsdünger als Ansatzpunkt für politische Maßnahmen in die Überlegungen einzubeziehen.

Bei der Berechnung der **Lachgas-Emissionen** führt die Anwendung der einfachen E-MEP/CORINAR bzw. IPCC-Verfahren zu einer erheblichen Erhöhung der nationalen Emissionen, weil im Gegensatz zum bisher in Deutschland angewandten Verfahren weitere Quellen berücksichtigt werden. Hier sind insbesondere die indirekten Emissionen als Folge der Auswaschung von reaktiven Stickstoffspezies aus landwirtschaftlichen Nutzflächen, aber auch die indirekten Emissionen als Folge der Deposition von landwirtschaftsbürtigen N-Spezies zu nennen ( $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen aus der Landwirtschaft 1996 nach UBA bisher weniger als  $80 \text{ Gg a}^{-1}$ , nach GAS-EM  $96 \text{ Gg a}^{-1}$ ). Bisher beschränken sich die Rechnungen auf einfache Verfahren. Die Entwicklung von detaillierten Rechenverfahren ist zur Zeit wegen mangelnder Prozesskenntnisse nicht möglich.

Bei der Berechnung der **Methan-Emissionen** wird das vorgeschriebene einfache Verfahren nach IPCC angewendet. Dies liegt bereits jetzt den nationalen Berichten zugrunde. Die detailliertere Berechnung von Methan-Emissionen aus der Wiederkäuerhaltung (enteric fermentation) ist noch zu entwickeln. Die Methan-Konsumption landwirtschaftlicher Böden erwies sich als praktisch bedeutungslos.

Die Prognose landwirtschaftlicher Emissionen wird durch die kontinuierliche Weiterentwicklung internationaler Abkommen auch in Zukunft für die Politikberatung eine wichtige Rolle spielen. Modellberechnungen im Genfer Luftreinhalteabkommen, die maximale nationale Emissionsmengen an kritischen Belastungen (critical loads) orientieren, hier am Schutz gefährdeter Ökosysteme vor Versauerung bzw. Versauerung und Eutrophierung, schätzen die noch vertretbaren nationalen Emissionsströme auf etwa 400 (Versauerung) bzw. 300  $\text{Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$  (Versauerung und Eutrophierung). Voraussetzung für zukünftige Emissionsberechnungen ist eine statistische **Datenbasis** für die Situation in der Stall- und Weidehaltung, Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung. Weiterer **Forschungsbedarf** besteht bei der Messung der Emissionen von Ammoniak und anderer Spurengasen (Methodik, Zeitreihen, Untersuchung neuer Haltungsformen) und im Hinblick auf die Schätzung der N-Umsetzung im Stall und während der Lagerung. Bei der Weiterentwicklung der Modelle wird künftig ein Schwerpunkt in der besseren Abbildung der Zusammenhänge mit anderen Umweltbereichen (Nitratauswaschung ins Grund- und Oberflächenwasser, andere Spurengase) und der wechselseitigen Beeinflussung von Minderungsmaßnahmen für unterschiedliche Spurengase liegen. Von Relevanz für die Umsetzung emissionsmindernder Maßnahmen wird in Zukunft die Entwicklung verbesserter (emissionsreduzierter) Verfahren im Bereich der Stallhaltung, bei der Lagerung von Festmist sowie bei der Ausbringung von Rindergülle auf bewachsene Flächen sein.

## 10 Summary

Gaseous emissions from agriculture contribute to a number of environmental effects. Due to its acidifying and eutrophying effect, nitrate in particular, whose main emission source is agriculture and livestock production, is being discussed in this context. National emission ceilings for ammonia have been adopted within the framework of regional agreements such as the UN/ECE's Multi-pollutant, Multi-effect Protocol and the NEC Directive of the EU. Under these agreements, Germany undertook to reduce its ammonia emissions to 550 Gg (1 gigagram = 1000 tons) by 2010. The Kyoto Protocol sets emission ceilings for greenhouse gas emissions, expressed as CO<sub>2</sub> equivalents. In the case of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>, agriculture's contribution to greenhouse gas emissions is so substantial that it can be expected that emissions will need to be calculated more exactly than in the past and emission abatement measures will need to be identified. The relevant specific contributions have not yet been defined, however.

From an environmental perspective, the commitments entered into represent an opportunity. However, up to now, the determination of emission ceilings and of present and future emission flows has been based on a simple calculation method, in which animal numbers of individual livestock categories are multiplied by category-specific emission factors. As emissions of NH<sub>3</sub> are influenced by a multitude of factors, such as whether livestock is kept indoors or outdoors or the way slurry is stored and applied, this calculation method is not capable either of accurately depicting current emissions or describing future changes with a view to technical progress.

The project entitled "Agricultural Emissions" aimed, therefore, to refine the existing emission calculation methods for the agricultural sector in such a way that the inventories fulfil their intended purposes and meet international reporting requirements in terms of both the reliability of the resulting figures and their spatial resolution, to identify data needs, to recalculate 1990 emissions and to forecast emissions for the year 2010. In addition, the impact and cost of measures to reduce ammonia emissions were to be assessed.

The project consisted of the following main stages:

- Improved calculation requires determination of partial emission factors to describe the various sources of trace gas emissions within a production chain for all relevant livestock categories and for the husbandry techniques currently in use or expected to be used in Germany. Since long-term and generally accepted measuring results are not yet available, acceptable values were derived from available studies, in co-ordination with the KTBL / UBA Working Group on "Emission Factors and Emission Abatement Measures", for the areas indoor/outdoor livestock production, storage and land spreading of animal manures, and application of mineral fertilisers.
- Chambers of agriculture and consultants in 11 model districts were surveyed to generate data on individual livestock farming techniques (keeping system, feeding, storage and spreading of manures) on which no data are available in the official statistics.
- Operational costs were calculated for selected livestock farming, slurry storage and slurry spreading techniques.

- A FAL / BMVEL working group ("Agricultural Structures and Economic Assessment") was set up to formulate assumptions for the future development of livestock numbers and technical progress, which are needed for forecasting emissions, and assess potential policy instruments for the implementation of abatement measures.
- In the course of the revision of the chapter "Agriculture" of the EMEP CORINAIR Guidebook, a set of Excel spreadsheets was developed for all methods compiled in this chapter. These spreadsheets permit emissions of ammonia, laughing gas, nitric oxide and methane to be determined according to both the simple and the detailed method as prescribed in the Guidebook. These spreadsheets, collated into the GAS-EM (GASeous EMissions) programme, were applied to the specific situation in Germany, and documented.
- To calculate ammonia emissions from German agriculture, two models were applied:  

The Excel-based programme GAS-EM was used to determine ammonia emissions from animal husbandry in previous years. The programme also permits calculation of emissions from other ammonia sources and other trace gases.

The agriculture-specific model RAUMIS was used to combine data on land use, animal husbandry and numerous other statistical parameters to produce a consistent picture of German agriculture. In addition to ex-post calculation of ammonia emissions, RAUMIS was needed in particular for the emission forecast and for cost calculations and sensitivity analyses.

The results of the study are summarised below:

For the base year 1990, **ammonia emissions** from animal husbandry were calculated at 610 Gg. In subsequent years, emissions decreased by around 23 %, to 470 Gg in 1995, due in particular to the sharp reduction in livestock numbers in the new Federal States. Emissions then changed only slightly until 1999 (466 Gg), as livestock numbers remained relatively stable during this period. Compared with the results of the EMEP/CORINAIR standard calculation method, ammonia emissions from animal husbandry as calculated using GAS-EM and RAUMIS are up to 20 % lower. This is mainly due to the fact that compared to the standard method, the emission calculation is more differentiated, allowing the techniques currently in use in animal husbandry and in the management of animal manures to be taken into account.

In estimating emissions for 2010, different assumptions were made concerning the development of livestock numbers and technological change. Assuming continued technological change and a sharp reduction in livestock numbers, ammonia emissions from animal husbandry will fall to around 419 Gg by 2010. Assuming the same rate of technological change and not as sharp a decline in animal numbers, emissions can be expected to still fall to 434 Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub>. However, if technological change in emission abatement ceases between 2000 and 2010, emissions from animal husbandry in 2010 are expected to amount to 461 Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub>. Adding the emissions from other sources, of 100-140 Gg a<sup>-1</sup>, Germany could not in this case meet its commitment to reduce ammonia emissions to 550 Gg by 2010.

Therefore, in order to safely achieve the reduction target, selective emission abatement measures should be implemented. Calculation for different abatement scenarios requires as a first step an

analysis of the reduction potential and costs of various measures. Ploughing in of animal wastes directly after application proved to be a particularly suitable measure for abatement of ammonia emissions, for all livestock classes. For pigs, covering of the slurry storage tank and N-adapted feeding are additional measures that deserve to be mentioned; for poultry, it is mainly drying of the excrements. Emission abatement measures for cattle have a high potential for achieving reductions because cattle accounts for a large percentage of total ammonia emissions, but high costs and insufficient technical evolution of the measures concerned limit their application.

Taking a reference emission of 461 Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> as the baseline, calculations were carried out for 2010 for three different emission abatement scenarios. Scenario 1 describes a “realistic minimum reduction”, assuming that promotion would achieve only limited rates of conversion to low-emission techniques. Scenario 2 assumes a “realistic maximum reduction”, with mandatory requirements for animal husbandry and higher rates of conversion to low-emission techniques. Scenario 3 defines a “relatively unrealistic maximum reduction”, in which the assumptions of Scenario 2 were supplemented *inter alia* by an assumed wider implementation of improved feeding regimes and direct incorporation of animal manures into the soil.

Table 10.1: Results of the implementation of emission abatement scenarios in comparison with the reference situation

	NH <sub>3</sub> emission in 2010	Emission reduction relative to reference		Costs relative to reference	Cost effectiveness
Scenario	Gg a <sup>-1</sup>	Gg a <sup>-1</sup>	%	Million DM (only for cattle and pigs)	DM/kg NH <sub>3</sub> reduced
Reference	461				
Scenario 1	429	32.1	7	296	11.9
Scenario 2	411	50.5	11	569	12.3
Scenario 3	390	71.0	15	631	10.1

*Calculations performed using RAUMIS*

Policy instruments (mandatory requirements, promotion, etc.) for the implementation of abatement measures were assessed according to the following criteria: effectiveness, administrative practicality and controllability, acceptance, and reach. The following policy measures were found to be particularly suitable for achieving emission reductions:

- requirements mandating that slurry storage tanks be provided with a strong cover, possibly coupled with promotion during the transition period,
- further development of “good agricultural practice” and the “state of the art”, in particular with a view to land spreading of slurry,
- advising, in the case of measures which are in the farmer’s own interest but whose propagation is limited by insufficient knowledge of management options (e.g. N-adapted feeding).

With a view to the environmental impacts of ammonia, the regional concentration of livestock farming will be a significant factor in the future. High regional impacts can be reduced by reducing livestock

numbers in regions with intensive livestock farming. A fact to be taken into account is that at present, the export of animal manures to other regions is recognised as proof of land spreading capacity for holdings with high livestock numbers. Therefore, when formulating policy actions, the supra-regional transport of animal manures should be taken into account as a potential measure.

In calculating **emissions of laughing gas**, use of the simple EMEP/CORINAIR or IPPC methods resulted in a markedly higher figure for national emissions, because these methods take into account further sources not covered by the method hitherto applied in Germany. This includes, in particular, indirect emissions from the leach-out of reactive nitrogen species from farmland, but also from the deposition of N species originating from agriculture (N<sub>2</sub>O emissions from agriculture in 1996: less than 80 Gg a<sup>-1</sup> according to the method previously used by the Federal Environmental Agency and 96 Gg a<sup>-1</sup> according to GAS-EM). Only simple calculation procedures have been used up to now. Detailed calculation methods cannot currently be developed, due to insufficient knowledge about the processes involved.

To calculate **methane emissions**, the required simple method according to IPPC was applied. This method is already being used for national reporting. A detailed method for the calculation of methane emissions from ruminant husbandry (enteric fermentation) has yet to be developed. Methane consumption by agricultural soils proved to be virtually irrelevant.

The continual further development of international agreements means that forecasting of agricultural emissions will continue to play an important role for policy advisors. Modelling carried out under the Geneva Convention on Long-range Transboundary Air Pollution to calculate national emission ceilings on the basis of critical loads for protection of ecosystems against acidification or against acidification and eutrophication estimated the tolerable national emission level at about 400 (acidification) or 300 (acidification and eutrophication) Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub>. The prerequisite for future emission calculations is a statistical **data base** on the situation in indoor livestock production, outdoor livestock production, and storage and land spreading of animal manures. There is a **need for further research** on the measurement of emissions of ammonia and other trace gases (methodology, time series, analysis of new livestock production systems) and the estimation of N turnover in animal houses and during storage. In refining the models, a main focus in the future will be to better depict the interrelations with other environmental compartments (leaching of nitrate to groundwater and surface waters, other trace gases) and the interactions between abatement measures for different trace gases. In terms of the implementation of emission abatement measures, the development of improved (low-emission) techniques for indoor animal production, storage of solid dung and spreading of cattle slurry on land covered by vegetation will be relevant in the future.

## Literaturverzeichnis

- Aarnink, A.J. et al. (1994): Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behavior of growing pigs. *J.agric.Engng.Res.* **64**, S. 299-310
- Ackermann, I. (1999): Kosten von Umweltschutzmaßnahmen bei der Güllelagerung. *Bauen für die Landwirtschaft* **1**, S. 11-13
- AgraEurope (2000): 30/00, 24. Juli 2000, Länderberichte S.13-15
- Ahlgrimm, H.-J., Gädeken, D.(1990): II. Entstehung klimarelevanter Spurengase als Folge der Landbewirtschaftung. 2. Methan. In: Sauerbeck, D., Brunnert, H. *Klimaveränderungen und Landbewirtschaftung.* (Hrsg): *Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft* **117**. S. 28-46
- Ahlgrimm, H.-J.; Dämmgen, U. (1994): Beitrag der Landwirtschaft zur Emission von klimarelevanten Spurengasen. In: Brunnert, H.; Dämmgen, U. (Hrsg.): *Klimaveränderungen und Landbewirtschaftung. Teil II. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft* **148**, S. 75-106.
- Allegrini, I.; de Santis, F. (1989): Measurement of atmospheric pollutants relevant to dry acid deposition. *Critical Rev. Anal. Chem.* **21**, S. 237-255.
- Amann, M.; Bertok, I.; Cofala, J.; Gyarmas, F.; Heyes, C.; Klimont, Z.; Schöpp, W. (1996): Cost-effective Control of Acidification and Ground-Level Ozone. First Interim Report to the European Commission, DG-XI. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 106 S.
- Amon, B.; Amon, Th.; Boxberger J. (1998): Untersuchung der Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft Österreichs zur Ermittlung der Reduktionspotentiale und Reduktionsmöglichkeiten. Hrsg. Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, Universität für Bodenkultur, Wien, 311 S.
- Anonymus (1989): Arbeitsmaterialien des Bundesamtes für Ernährung und Forstwirtschaft: Emissionen von Ammoniak. Frankfurt/Main
- Asman, W.A.H. (1992): Ammonia emission in Europe. Updated emission and emission variations. RIVM Report no. 228471008, Bilthoven.
- Barrett, K.; Berge, E. (Hrsg.) (1996): Transboundary Air Pollution in Europe. Part 1. Estimated dispersion of acidifying agents, and of near surface ozone. EMEP(MSC-W Report 1/96). Oslo.
- Becker, R.; Nagel, H.-D.; Werner, L. (1999): Critical Loads für Säureeintrag. In: Nagel, H.-D.; Gregor, H.-D. (Hrsg.): *Ökologische Belastungsgrenzen - Critical Loads & Levels.* Springer, Berlin. S. 52-80.
- Beese, F. (1994): Gasförmige Stickstoffverbindungen. In: Studienprogramm. Band 1. Landwirtschaft. Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.), Studie D
- Berg, W. (1998a): Emissions from Animal Husbandry and their Assessment. XIIIth International Congress on Agricultural Engineering. Rabat. Morocco. February 2-6, S. 289-294
- Berg, W. (1998b): Umweltrelevante Emissionen aus der Nutztierhaltung, Möglichkeiten ihrer Verminderung und Bewertung. Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Regensburg 23.-27. März, Tagungs-CD
- Berg, W. (1999): Technikbewertung - Nutztierhaltung. *Berichte über Landwirtschaft* Band **77** (1), S. 147-154

- Berge, E.; Sandness, H.; Jakobsen, H.; Jonson, J.E. (1996): Acid deposition in the 50 km grid, results and comparison with measurements for 1992. In: Barrett, K.; Berge, E. (Hrsg.): Transboundary Air Pollution in Europe. Part 1. Estimated dispersion of acidifying agents, and of near surface ozone. EMEP(MSC-W Report 1/96). Oslo. S. 93-121.
- Bless, H.-G.; Sattelmacher, B. (1991): Ammoniak-Verluste nach der Feldausbringung von Gülle und Stallmist, VDLUFA Kongreßband **33**; S. 81-86
- BMELF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (Hrsg.) (2000): Agrarbericht der Bundesregierung 2000. BMELF, Bonn, 98 S.
- Bonazzi, G., Fabbbril, C., Valli, L (1997): Ammonia emissions in farrowing-weaning houses with frequent slurry removal system. International Symposium „Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities“. Vinkeloord, The Netherlands. October 6-10, S. 615-619
- Bouwman, A. F. (Ed.) (1990): Soils and the greenhouse effect. John Wiley & Sons Ltd. Chichester.
- Bouwman, A.F.; van den Born, G.J.; Swart, R. J. (1991): Land use related sources of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O. Stellungnahme der Sachverständigen zum Fragenkatalog für die öffentliche Anhörung am 25./26. November. Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages. Kommissionsdrucksache 12/1-a, S. 207-267
- Brouwer, F.; Hoogeveen, M. 2000: The Arable Crops Regime and Nitrogen Pollution Control. In: Brouwer, F.; Lowe, P. 2000 (Hrsg.) 2000: CAP Regimes and the European Countryside
- Bundesminister für Wirtschaft (1969): Gesetz über Einheiten im Meßwesen. BGBl. 1969, Teil I, 709-712
- Bundesminister für Wirtschaft (1970): Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen. BGBl. 1970, Teil I, S. 981-991
- Büscher, W. (1996): Technische Maßnahmen zur Emissionsminderung aus der Tierhaltung. In: Tierhaltung in Baden-Württemberg umweltgerecht-tiergerecht-marktgerecht. Vol. 3, Universität Hohenheim, LEL, Landwirtschaftliche Hochschultagung Hohenheim, S. 46-50
- Cielejewski, H.; Ratschow, J.-P. (1997): Emissionen verschiedener Verfahren der Mastschweinehaltung, Landtechnik **3**, S. 150-151
- Constantin, J. (1993): Stoffeinträge in ein Fichtenwaldökosystem durch Deposition luftgetragener Partikel und Nebeltröpfchen. Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme **A 106**. Göttingen. 165. S.
- Dämmgen, U.; Grünhage, L. (2002): Trace Gas Emissions from German Agriculture as Obtained from the Application of Simple or Default Methodologies. Environ. Pollut. **117**, S. 23-34
- Dämmgen, U.; Grünhage, L.; Haenel, H.-D.; Jäger, H.-J. (1993): Climate and Stress in Ecotoxicology – A Coherent System of Definitions and Terms. Angew. Bot. **67**, S. 157-162.
- Dämmgen, U.; Grünhage, L.; Jäger, H.-J. (1997): Description, assessment and meaning of vertical flux densities of matter within ecotopes: A systematic consideration. Environ. Pollut. **96**, S. 249-260.
- Dämmgen, U.; Lüttich, M.; Döhler, H.; Eurich-Menden, B.; Osterburg, B. (2002): GAS-EM – A procedure to calculate gaseous emissions from agriculture. Landbauforschung Völkenrode, in Vorbereitung
- De Bode, M.J.C. (1990): Vergleich der Ammoniakemissionen aus verschiedenen Flüssigmistlagersystemen. In: KTBL, VDI (Hrsg.): Ammoniak in der Umwelt. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup. S. 34.1-34.13
- Dierke Weltatlas, 3., aktualisierte Auflage 1992, Westermann Schulbuch Verlag GmbH, Braunschweig

- DLG (1999): DLG-Merkblatt 314: Nährstoffanfall und Futterflächenbedarf in der Pferdehaltung. 15 .
- DLG (2001): Tierhaltung - Gute Leistung plus Tierschutz. DLG-Mitteilungen, **6**, S . 15-31
- Döhler, H. (1992): Güllebehälter richtig abdecken. DLG Mitteilungen **5**, S. 58-60
- Döhler, H.; Zapf, R. (1996): Emissionsminderungspotentiale für Ammoniak aus der Tierhaltung im Kreis Coburg, Studie KTBL, unveröffentlicht. 73 S.
- Duyzer, J.H.; Bosveld, F.C. (1988): Measurements of Dry Deposition Fluxes of O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and Particles over Grass/Heathland Vegetation and the Influence of Surface Inhomogeneity. MT-TNO Rep. R 88/111, Delft.
- EEA - European Environment Agency, 1996. Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook, First Edition, CD-Rom. EEA, Copenhagen.
- EMEP/CORINAIR (1996): AIR. Atmospheric Emission Inventory Guidebook. EEA, Copenhagen. CD-ROM.
- EMEP/CORINAIR (2000): Atmospheric Emission Inventory Guidebook. 2. Aufl., EEA, Copenhagen.
- EMEP/CORINAIR (2000): Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. 2nd ed., EEA, Copenhagen.
- ENQUETE-KOMMISSION „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages (1994): Schutz der Grünen Erde – Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder. Dritter Bericht der Kommission. Economica Verlag, Bonn
- Eurich-Menden, B.; Döhler, H.; Zapf, R. (2001): Emissionsminderungspotentiale für Ammoniak aus der Tierhaltung im Landkreis Coburg, 112. VDLUFA Kongress in Hohenheim, Kongressband **55**, S. 143-148
- Europäische Gemeinschaft (1996a): Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung. Amtsblatt Nr. L 257 vom 10.10.1996, S. 26-40,
- Europäische Gemeinschaft (1996b): Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität. Amtsblatt Nr. L 296 vom 21.11.1996, S. 55-63.
- Europäische Gemeinschaft (2000): Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. (2000/C 56/E/10), vom 29.2.2000. Official Journal of the European Communities, C 56/34-39.
- Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau (1993): 12th ed., Landwirtschaftsverlag., Münster. 618 S.
- Flachowsky, G.; Flachowsky, E., 1997. Integriertes Umweltmanagement in Unternehmen der landwirtschaftlichen Primärproduktion - Tierproduktion. In: Birkner, U., Doluschitz, R. (Eds.). Betriebliches Umweltmanagement in der Land- und Ernährungswirtschaft, Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, S. 40-60.
- Frede, H.-G.; Dabbert S. (Hrsg.) (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Ecomed, Landsberg., 451 S.
- Freibauer, A.; Kaltschmitt, M. (eds.) (2000a): Emission Rates and Emission Factors of Greenhouse Gas Fluxes and Animal Agriculture. Biogenic Emissions of Greenhouse Gases Caused by Animal and Arable Agriculture (FAIR3-CT96-1877). Project Report Task 1. Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Typescript, 375 S.
- Freibauer, A.; Kaltschmitt, M. (eds.) (2000b): Overall emissions. Biogenic Emissions of Greenhouse Gases Caused by Animal and Arable Agriculture (FAIR3-CT96-1877). Project Report Task 3. Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Typescript, draft.



- Frick, R.; Menzi, H. (1997): Hofdüngeranwendung: Wie Ammoniakverluste vermieden werden. (Hrsg): Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon, Schweiz. FAT-Berichte, Nr. **496**, 12 S.
- Frick, R.; Menzi, H.; Katz, P. (1996): Ammoniakverluste nach der Hofdüngeranwendung. (Hrsg): Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon, Schweiz. FAT-Berichte, Nr. **486**, 12 S.
- Gartung, J.; Hagemann, J.; Knies, K. (1999): Investitionsbedarf für Flüssig- und Festmistlager. Bauen für die Landwirtschaft **1**, S. 6-10
- German standard VDI 2450 Part 1 (1977): Messen von Emission, Transmission und Immission luftverunreinigender Stoffe. Begriffe, Definitionen, Erläuterungen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 4 S.
- Gibbs, M.J.; Lewis, L.; Hoffman, J.S. (1989): Reducing methane emissions from livestock: opportunities and issues. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington D.C.
- Groenestein, C.M.; Montsma, H. (1991): Tying stall for dairy cattle. IMAG-DLO, Report **91-1002**, Wageningen, The Netherlands
- Groenestein, C.M.; Oosthoek, J.; van Faassen, H.G., (1993): Microbial processes in deep-litter systems for fattening pigs and emission of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide. In: „Nitrogen flow in pig production and environmental consequences“. Proceedings of the First International Symposium. Wageningen, The Netherlands. June 8-11, S. 307-3112
- Groenestein, C.M.; Reitsma, B. (1993): Straw bed housing for dairy cows. IMAG-DLO, Report **93-1005**, Wageningen, The Netherlands
- Groenestein, C.M.; van Faassen, H.G (1996): Volatilization of Ammonia, Nitrous Oxide and Nitric Oxide in Deep-litter Systems for Fattening Pigs. Journal of Agric. Research **65**, S. 269-274
- Groot Koerkamp, P.W.G. (1998): Ammonia emission from aviary housing systems for laying hens - inventory, characteristics and solutions. Thesis. IMAG-DLO. 161 S.
- Groot Koerkamp, P.W.G.; Uenk, G.H. (1997): Climatic conditions and aerial pollutants in and emissions from commercial animal production systems in the Netherlands. International Symposium „Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities“. Vinkeloord, The Netherlands. October 6-10, S. 139-144
- Harrison, R.M.; Allen, A.G. (1991): Scavenging ratios and deposition of sulphur, nitrogen and chlorine species in Eastern England. Atmos. Environ. **25A**, S. 1719-1723.
- Hartung, E.; Monteny, G.-J. (2000): Emission von Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) aus der Tierhaltung. Agrartechnische Forschung **4**, S. 62-69
- Heinemeyer, O.; Kaiser, E.-A.; Munch, J.C. (1995): N<sub>2</sub>O Freisetzung aus landwirtschaftlich genutzten Böden: Einfluß von Standort, Düngung und Fruchtart. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft **442**
- Hellebrand, H.J., Munack, A. (1995): Minderungsmöglichkeiten klimarelevanter Emissionen aus der Landwirtschaft. Agrartechnische Forschung **2**, S. 109-119
- Henrichsmeyer, W. et al. (1996): Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BMELF (94 HS 021), vervielfältigtes Manuskript, Bonn/Braunschweig
- Hesse, D. (1992): Vergleich von drei Haltungsv erfahren für Mastschweine auf Stroheinstreu. In: KTBL (Hrsg.): Mastschweine im Kompoststall. Arbeitspapier **183**, S. 89-105
- Hesterberg, R.; Blatter, A.; Fahrni, M.; Rosset, M.; Neftel, A.; Eugster, W.; Wanner, H. (1996): Deposition of nitrogen-containing compounds to an extensively managed grassland in Central Switzerland. Environ. Pollut. **91**, S. 21-34.

- Heyer, J. (1994): Methan. In: Studienprogramm. Band 1. Landwirtschaft. Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.), Studie C
- Heyland, K.-U. (1996): Spezieller Pflanzenbau. Ulmer, Stuttgart, 348 S.
- Hicks, B.B.; Matt, D.R.; McMillan, R.T.; Womack, J.D.; Wesely, M.L.; Hart, R.L.; Cook, D.R.; Lindberg, S.E.; De Pena, R.G.; Thomson, D.W. (1989): A field investigation of sulphate fluxes to a deciduous forest. *J. Geophys. Res.* **94**, S. 13003-13011.
- Horlacher, D.; Gamer, W.; Zeddies, J.; Römheld, V.; Jungbluth, Th. (1997): Bilanzen von potentiell umweltbelastenden Nährstoffen (N, P, S) sowie Ammoniak aus der Landwirtschaft in Baden Württemberg. Forschungsbericht im Auftrag des Ministeriums für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Baden-Württemberg. 293 S.
- Hörnig, G.; Brunsch, R. (2000): Tränkwasserzusatz senkt Emissionen aus Broilerställen. *DGS-Magazin*, Woche **18**, S. 25-29
- Hüther, L. (1999): Entwicklung analytischer Methoden und Untersuchung von Einflußfaktoren auf Ammoniak-, Methan- und Distickstoffmonoxidemissionen aus Flüssig- und Festmist. Dissertation. Landbauforschung Völkrode. Sonderheft **200**. 225 S.
- Hüther, L.; Schuchardt, F. (1998): Wie lassen sich Schadgasemissionen bei der Lagerung von Gülle und Festmist verringern? In: KTBL (Hrsg.): Aktuelle Arbeiten aus Landtechnik und landwirtschaftlichem Bauen, Arbeitspapier **250**, S. 177-181
- IPCC - International Panel on Climate Change (1996). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 3. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC WGI Technical Support Unit, Bracknell.
- IPCC (1995): 2. Sachstandsbericht, Arbeitsgruppe I
- IPCC (1995): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Workbook 3. Cambridge University Press
- IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry (1993): Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry. In: Mills, I.; Cvitas, T.; Homann, K.; Kallay, N.; Kuchitsu, K. (eds.). 2nd ed., Blackwell, London, 160 S.
- IUPAP (1987): Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics. Cohen, E.R.; Giacomo, P. (eds.). *Physica* **146A**, S1-68.
- JRC-SAI - Joint Research Centre of the European Commission – Space Applications Institute (2000): Soil Geographical Data Base of Europe, scale 1:1,000,000. Joint Research Centre of the European Commission – Space Applications Institute, Ispra.
- Jungbluth, Th.; Büscher, W. (1996): Reduzierung der Ammoniakemissionen aus Stallanlagen - Bewertung von Maßnahmen. In: KTBL (Hrsg.): Aktuelle Arbeiten aus der Landtechnik und landwirtschaftlichem Bauwesen. Arbeitspapier **233**, S. 184-218
- Jungbluth, Th.; Hartung, E.; Brose, G. (1999): Greenhouse Gas Emissions from Animal Husbandry. Int. Konferenz „Biogenic Emissions of Greenhouse Gases caused by Arable and Animal Agriculture“, 13.-15.10.1999, Stuttgart
- Keck, M. (1997): Beeinflussung von Raumluftqualität und Ammoniakemissionen aus der Schweinehaltung durch verfahrenstechnische Maßnahmen. *VDI-MEG* (Hrsg.), Forschungsbericht Agrartechnik **299**, Dissertation, 116 S.
- Kirchgessner, M.; Windisch, W.; Kreuzer, M. (1991a): Stickstoffemission laktierender Milchkühe über die Gülle in Abhängigkeit von der Leistungsintensität. *Agrobiological Research* **44**, S. 1-13.
- Kirchgessner, M.; Windisch, W.; Müller, H.L.; Kreuzer, M. (1991b): Release of methane and carbon dioxide by dairy cattle. *Agrobiological Research* **44**, S. 91-102.
- Klaassen, G. (1991): Past and future emissions of ammonia in Europe. Status Report SR-91-01. International Institute for Applied Systems Analysis - IIASA, Laxenburg.

- Klasink, A.; Steffens, G. (1996): Die meisten sind ohne große Wirkung. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems **4**, S. 40-42
- Kleinhanß, W.; Osterburg, B.; Manegold, D.; Goertz, D.; Salamon, P.; Seifert, K.; Jacobi, E. (1999): Modellgestützte Folgenabschätzung zu den Auswirkungen der Agenda 2000 auf die deutsche Landwirtschaft. – Arbeitsbericht 1/99, Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume der FAL Braunschweig, Braunschweig
- Köble, R.; Gauger, T.; Smiatek, G. (1999): Flächenhafte Gesamtdeposition. In: Nagel, H.-D.; Gregor, H.-D. (eds): Ökologische Belastungsgrenzen - Critical Loads & Levels. Ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik. Springer, Berlin. S. 216-223.
- Koch, F. (1998): Entmistung und Lagerung von Gülle und Festmist sowie Silage und Gärsaftlagerung. Bau Briefe Landwirtschaft **38**, S. 59-68
- Köhnlein, J.; Vetter, H. (1953) Ernterückstände und Wurzelbild. Parey, Hamburg
- Körschens, M. (1993): Simulationsmodelle für den Umsatz und die Reproduktion der organischen Substanz im Boden. Ber. über Landwirtschaft SH NF **206**, S. 140-154.
- Kowalewsky, H.-H.; Fübbeck, A. (1998): Strohhacksel zur Abdeckung von Güllelagern. In: KTBL (Hrsg.): Aktuelle Arbeiten aus Landtechnik und landwirtschaftlichem Bauen. Arbeitspapier **250**, S. 172-176
- KTBL (2000): Taschenbuch Landwirtschaft 2000/2001, 20. Auflage, 269 S.
- Kunz, H.-G. (1996): Güllezusatzstoffe - mehr als fauler Zauber. Top-Agrar **5**, S. 64-66
- Landwirtschaftskammer Rheinland (1991): Emissionen von Ammoniak und Methan aus der Landwirtschaft in die Atmosphäre, Quellen und Vermeidungsmöglichkeiten. Schriften der LK Rheinland, Heft **72**, 57 S.
- Landwirtschaftskammer Weser-Ems (1996): Güllebehälterabdeckung mit Strohhacksel. Fachliche Mitteilungen, Abteilung 3: Unternehmensberatung - Träger öffentlicher Belange - Berufsbildung. 10 S.
- Landwirtschaftskammer Weser-Ems (1997): Nährstoffvergleich auf Feld-Stall-Basis. § 5 der Düngeverordnung. Hannover
- Maul, C. (1997): SimSET - Ein Umweltinformationssystem für die Tierhaltung. ATB-Forschungsbericht 1997/2. Zitiert in: Ackermann, I.: Kosten von Umweltschutzmaßnahmen bei der Güllelagerung in: Bauen für die Landwirtschaft **1/99**
- Menniken, L. (2000): Möglichkeiten der Minimierung gasförmiger Emissionen in Legehennenställen. In: Petersen, J. (Hrsg.): Jahrbuch der Geflügelwirtschaft. Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 34-43
- Menzi, H.; Frick, R.; Kaufmann, R. (1997): Ammoniak-Emissionen in der Schweiz: Ausmaß und technische Beurteilung des Reduktionspotentials. Schriftenreihe der FAL **26**. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz. 107 S.
- Monteith, J.L. (1984): Consistency and convenience in the choice of units for agricultural science. Expl. Agric. **20**, S. 105-117
- Monteny, G.-J.; Kant, P.P.H. (1997): Ammonia emission and possibilities for reduction in dairy houses: a review of Dutch developments. International Symposium „Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities“. Vinkeloord, The Netherlands. October 6-10, S. 355-364
- Müller, H.-J.; Krause, K.-H., Eckhof, W. (1997): Emissions- und Immissionsverhalten von Geflügelställen. Landtechnik **2**, S. 92-93
- Muster-Verwaltungsvorschrift für den Vollzug der Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 26. Januar 1996. BGBl. I (1996), S. 118

- Nagel, H.-D. (1999): Critical Loads Exceedance. In: Nagel, H.-D.; Gregor, H.-D. (Hrsg.): Ökologische Belastungsgrenzen. Critical Loads & Levels. Ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik. Springer, Berlin, S. 232-234.
- Najati, S., v. d. Weghe, H. (2000): Die Kot/Einstreubelüftung in der Hähnchenmast – eine Gesamtbewertung. Landtechnik **5**, S. 366-367
- Neser, S. (2000): Internetangebot des Instituts für Landtechnik der TU München – Weihenstephan
- Nicholson, K.W.; Davies, T.D. (1987): Field measurements of the dry deposition of particulate sulphate. Atmos. Environ. **21**, S. 1561-1571.
- Norm VDI 2450 Bl. 1 (1977): Messen von Emission, Transmission und Immission luftverunreinigender Stoffe. Begriffe, Definitionen, Erläuterungen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 4 S.
- Oldenburg, J. (1989): Geruchs- und Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung. KTBL-Schrift **333**, 158 S.
- Oosthoek, J.; Kroodsmas, W.; Hoeksma, P. (1990): Betriebliche Maßnahmen zur Minderung von Ammoniakemissionen aus Ställen. In: KTBL, VDI (Hrsg.): Ammoniak in der Umwelt. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup. S. 29.1-29.23
- Peters, K.; Bruckner-Schatt, G. (1995): The dry deposition of gaseous and particulate Nitrogen compounds to a spruce stand. Water Air Soil Pollut. **85**, S. 2217-2222.
- Plöchl, M.; Berg, W. (1999): Control and reduction of methane and nitrous oxide emissions within animal husbandry and manure application. Second International Symposium on Non CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases (NCGG 2) - Scientific understanding, control and implementation. Noordwijkerhout, The Netherlands. September 8-10
- RAINS (1998): RAINS-NH<sub>3</sub> review files for individual countries. Germany. <http://www.iiasa.ac.at/~rains/index.html>.
- Reifsnyder, W.E.; McNaughton, K.G.; Milford, J.R. (1991): Symbols, units, notation. A statement of journal policy. Agric. Forest Meteorol. **54**, S. 389-397.
- Reisch, E.; Zeddies, J. (1992): Einführung in die landwirtschaftliche Betriebswirtschaftslehre. Spezieller Teil; 3. Aufl. Stuttgart: Ulmer.
- Richtlinie 91/676/EG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. Amtsblatt Nr. L 375 vom 31/12/1991 S 0001 - 0008
- Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung Amtsblatt Nr. L 257 vom 10/10/1996 S. 0026 – 0040
- Rohr, K. (1992): Verringerung der Stickstoffausscheidung bei Rind, Schwein und Geflügel, Landbauforschung Völknerode, Sonderheft **132**, S. 39-53
- Roß, A.; Fübber, A.; Seipelt, F.; Steffens, G.; Kowalewsky, H. (1999): Quantifizierung der Freisetzung von klimarelevanten Gasen aus Güllebehältern mit und ohne Strohhäckselabdeckung, UBA Texte **38**, 91 S.
- Scheele, M.; Isermeyer, F.; Schmitt, G. (1993): Umweltpolitische Strategien zur Lösung der Stickstoffproblematik in der Landwirtschaft. In: Agrarwirtschaft 42 (1993), H. 8/9, S. 294-313.
- Schmidt, M.; Neftel, A.; Fuhrer, J. (2000): Lachgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft. Schriftenreihe der FAL 33, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz. 131 S.
- Schön, M.; Walz, R. (1993): Emissionen der Treibhausgase Distickstoffmonoxid und Methan in Deutschland. Umweltbundesamt (Hrsg.). Erich Schmidt Verlag, Berlin

- Seipelt, F. (1999): Quantifizierung und Bewertung gasförmiger Emissionen aus frei gelüfteten Milchviehställen mit Trauf-First Lüftung. Dissertation. Göttingen. VDI-MEG-Schritt **336**, 188 S.
- Sneath, R.W.; Holden, M.R.; Phillips, V.R.; White, R.P.; Wathes, C.M (1996): An inventory of emissions of aerial pollutants from poultry buildings in the UK. International Conference on air pollution from agricultural operations. Kansas City, Missouri, USA
- Sommer, S.G. (1997): Ammonia volatilization from farm tanks containing anaerobically digested animal slurry. *Atmospheric Environment*, **31/6**, S. 863-868.
- Spiekers, H. und Pfeffer, E. (1990): Emissionsminderung durch angepasste Fütterung. In: KTBL, VDI (Hrsg.): Ammoniak in der Umwelt. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup. S. 24.1-24.16
- Statistische Landesämter (bi-annual reports) (1996) Fachserie 3, Reihe 4: Viehbestand und tierische Erzeugung.
- Statistisches Bundesamt (1994) Fachserie 3, Reihe 4: Viehbestand und tierische Erzeugung.
- Statistisches Bundesamt (annual reports A). Fachserie 3: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Reihe 3: Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung 1993. Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- Steffens, P. (1996): Mires and peat resources in Germany. In: Eino Lappalainen (ed): Global Peat Resources. International Peat Society, Geological Survey of Finland, Jyväskylä, Finland. S. 75-78.
- Stegbauer, B., Naser, S.; Gronauer, A.; Schön, H. (1999): Vergleich der Emissionen klima- und umweltrelevanter Gase aus verschiedenen Mastschweinehaltungssystemen – Konventioneller Vollspaltenstall und zwei Außenklimastallvarianten. In: VDI-MEG, KTBL, AEL (Hrsg.): Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Tagungsband Weihenstephan, S. 87-92
- Swierstra, D. (1991): Emissionsarme Betriebsgebäude für Milchkühe. *Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 125*, Bau und Technik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, S. 51-58
- Swierstra, D; Braam, C.R. (1999): Grooved floor system for cattle housing: Ammonia emission reduction and good slip resistance. Conference paper for ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting, Toronto, Canada, 9 S.
- Thelosen, J.G.M.; Heitlager, B.P.; Voermans, J.A.M (1993): Nitrogen balances of two deep litter systems for finishing pigs. In: „Nitrogen flow in pig production and environmental consequences“. Proceedings of the First International Symposium. Wageningen, The Netherlands. June 8-11, p. 318-323
- UBA (1994): Ermittlung des Standes der Technik der Ammoniak-Emissionsminderung insbesondere bei der Rinderhaltung. Umweltbundesamt. Unterausschuss Luft/Technik des Länderausschusses für Immissionsschutz UBA Texte **13**, 51 S.
- UBA (2001): Daten zur Umwelt, Stand Januar 2001, unveröffentlicht
- UN/ECE - United Nations Economic Commission for Europe (1996): 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution and its protocols. UN/ECE, New York and Geneva.
- UN/ECE - United Nations Economic Commission for Europe (1999). Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone. <http://www.unece.org/env/lrtap/protocol/99multi.htm>.
- UN/ECE – United Nations Economic Commission for Europe (1999): EB.AIR/1999/2. Guidance document on control techniques for preventing and abating emissions of ammonia. Part V. UN/ECE, New York and Geneva

- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, 1992/1997. The Convention and the Kyoto Protocol (<http://www.unfccc.de/resource/convkp.html>). United Nations, New York.
- v. d. Weghe, S.; v. d. Weghe, H. (2000): Der Volierenstall für Legehennen. *Landtechnik* **5**, S. 362-263
- Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 26. Januar 1996, BGBl. Teil I vom 6. Februar 1996, S. 118; geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 16. Juli 1997 (BGBl. I S. 1836)
- Wanka, U.; Hörnig, G (1997): Untersuchungen zur Wirksamkeit von Güllebehälter-abdeckungen zur Reduzierung von Emissionen. 3. Internationale Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“. Kiel, 11. Und 12. März, S. 522-530
- Wanka, U.; Hörnig, G.; Fleischer, P. (1998): Abdeckmaterialien für Lagerbehälter mit Schweinegülle im Test. *Landtechnik* **1**, S. 34-35
- Weingarten, P. (1995): Das „Regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem für die Bundesrepublik Deutschland“ (RAUMIS). In: *Berichte über Landwirtschaft* 73 (1995) S. 272-302
- Werner, B.; Henze, C.-H.; Nagel, H.-D. (1999): Critical loads für den Stickstoffeintrag. In: Nagel, H.-D.; Gregor, H.-D. (Hrsg.): *Ökologische Belastungsgrenzen - Critical Loads & Levels*. Springer, Berlin. S. 80-110.
- Whelpdale, D.M.; Shaw, R.W. (1974): Sulphur dioxide removal by turbulent transfer over grass, snow and water surfaces. *Tellus* **26**, 196-205.
- Zimmerling, R.; Dämmgen, U.; Haenel, H.-D. (2000): Flüsse versauernd und eutrophierend wirkender Spezies zwischen Atmosphäre und Wald- und Forstökosystemen. In: Dämmgen, U. (Hrsg.): *Versauernde und eutrophierende Luftverschmutzung in Nordost-Brandenburg*. Landbauforschung Völktenrode, Sonderheft **213**, 9 S.
- Zimmerling, R.; Dämmgen, U.; Küsters, A.; Grünhage, L.; Jäger, H.-J. (1996): Response of a grassland system to air pollutants. IV. The chemical climate: Concentrations of relevant non-criteria pollutants (trace gases and aerosols). *Environ. Pollut.* **91**, S. 139-147
- Zimmerling, T.; Dämmgen, U.; Behrens, U. (2000): Konzentrationen versauernd und eutrophierend wirkender Spurengase und Aerosol-Bestandteile in Nordost-Brandenburg. In: Dämmgen, U. (Hrsg.): *Versauernde und eutrophierende Luftverschmutzung in Nordost-Brandenburg*. Landbauforschung Völktenrode, Sonderheft **213**, S. 43-93

<b>Anhang</b>	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
1	Ergebnisteil .....	E1 – E 39
2	Datenanforderung für eine Sonderauswertung der Kreisstatistik 1995 .....	1 A
3	Literaturauswertung Emissionsfaktoren Rinder .....	3 A
4	Literaturauswertung Emissionsfaktoren Schweine .....	6 A
5	Literaturauswertung Emissionsfaktoren Geflügel .....	11 A
6	Literaturübersicht Emissionsfaktoren Legehennenhaltung .....	13 A
7	Stickstoffausscheidungen der einzelnen Tierarten .....	14 A
8	Schlüssel Großvieheinheiten.....	15 A
9	Ammonium-N am Gesamt-N.....	16 A
10	Literaturübersicht Emissionsminderung Abdeckung Lagerung .....	17 A
11	Literaturübersicht N-angepasste Fütterung Schwein.....	18 A
12	Ausbringzeiträume für Flüssig- und Festmist .....	20 A
13	Auswertung Bausubstanzanalyse der ehem. DDR 1987 .....	21 A
14	Entwicklung der Tierbestandszahlen 1979-1997 .....	36 A
15	Karte der Klimaregionen .....	40 A
16	Übersicht Politikmaßnahmen .....	41 A

Tab. A1:	Literaturauswertung Emissionsfaktoren Rinder.....	3 A
Tab. A2:	Literaturauswertung Emissionsfaktoren Schweine.....	6 A
Tab. A2a:	Literaturauswertung Emissionsfaktoren Schweine - Stall, Lagerung, Ausbringung (ohne Zuordnung zu bestimmten Haltungsverfahren) .....	9 A
Tab. A3:	Literaturauswertung Emissionsfaktoren Mastgeflügel.....	11 A
Tab. A4:	Literaturauswertung Emissionsfaktoren Legehennen (in Ergänzung zur Übersicht von Menniken) .....	12 A
Tab. A5:	Literaturübersicht zu Ammoniakstickstoffemissionen in der Legehennenhaltung (erweitert nach Flügge, 1994), Menniken (2000) .....	13 A
Tab. A6:	Ausscheidungen in kg N pro Stallplatz und Jahr (Referenz, ohne N-reduzierte Fütterung).....	14 A
Tab. A7:	Großvieheinheiten-Schlüssel (aus KTBL-Taschenbuch 2000/2001) .....	15 A
Tab. A8:	Ammonium-N am Gesamt-N .....	16 A
Tab. A9:	NH <sub>4</sub> -N- und organisches N in Festmist und Jauche (%), Rinder und Schweine .....	16 A
Tab. A10:	Literaturauswertung mittlere NH <sub>3</sub> -Minderung (%) verschiedener Güllelagerungsarten im Vergleich zu nicht abgedeckten Behältern .....	17 A
Tab. A11:	Literaturübersicht N-angepasste Fütterung von Mastschweinen und Zuchtsauen, Reduktion der N-Ausscheidung (%) .....	18 A



**Abbildungen**

Abb. A1:	Ausbringzeiträume für flüssige Wirtschaftsdünger (Quelle: KTBL, 2000) ...	20 A
Abb. A2:	Ausbringzeiträume für feste Wirtschaftsdünger (Quelle: KTBL, 2000) .....	20 A
Abb. A3	Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979-1997, Milchkühe .....	36 A
Abb. A4	Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979-1997, Rinder insgesamt.....	36 A
Abb. A5	Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979-1997, Mastschweine ab 20 kg .....	37 A
Abb. A6	Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979-1997, Zuchtsauen $\geq 50$ kg .....	37 A
Abb. A7	Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979-1997, Schafe .....	38 A
Abb. A8	Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979-1997, Pferde und Ponys insgesamt .....	38 A
Abb. A9	Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979-1997, Geflügel insgesamt.....	39 A

**Übersichten**

Übersicht A1	Datenanforderung für eine Sonderauswertung der Kreisstatistik 1995.....	1 A
Übersicht A2:	DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE .....	21 A
Übersicht A3:	Maßnahmen und Politiken zur Emissionsminderung.....	41 A

**Karten**

Karte A1:	Für klimaabhängige Berechnungen genutzte Klimaregionen (69 Wetterstationen) .....	40 A
-----------	--	------



## Anhang Ergebnisteil

### Ergebnisse der Berechnung mit GAS-EM

**Tab. 100100.1:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
I. Emissionen aus der **Anwendung von Mineraldüngern**

Bericht: SNAP 100100  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology; GAS-EM Kap. 4.1  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Baden-Württemberg	3,9	2,8	3,0	3,0	3,1	3,7	4,1	4,6	4,1	5,1	
Bayern	11,3	10,7	10,1	8,3	7,7	8,0	8,2	8,7	9,3	9,7	
Brandenburg	missing	missing	missing	missing	3,3	3,8	5,0	4,6	4,7	6,2	
Hessen	2,1	2,8	1,9	2,0	2,2	2,8	3,3	3,7	3,5	3,8	
Mecklenburg-Vorpommern	missing	missing	missing	missing	10,2	13,6	11,5	10,3	11,1	10,3	
Niedersachsen	16,2	13,1	14,1	16,5	17,8	19,5	18,5	18,4	19,3	21,3	
Nordrhein-Westfalen	9,4	7,6	8,2	11,8	10,5	10,0	10,2	10,2	11,0	12,0	
Rheinland-Pfalz	1,8	1,8	1,7	1,8	1,6	1,5	1,6	1,5	2,0	1,2	
Saarland	0,1	missing	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	
Sachsen	missing	missing	missing	missing	2,9	4,5	4,0	3,9	4,7	5,3	
Sachsen-Anhalt	missing	missing	missing	missing	7,2	8,0	9,6	9,1	10,1	10,7	
Schleswig-Holstein	13,2	11,3	9,9	9,3	10,7	11,4	10,8	11,0	10,9	10,8	
Thüringen	missing	missing	missing	missing	2,8	3,4	3,2	3,9	4,5	4,7	
Deutschland	(58,0)	(50,3)	(49,3)	(52,7)	80,1	90,2	90,1	90,2	95,2	101,1	1)
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	(0,06)	(0,05)	(0,05)	(0,05)	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	

Bemerkungen: 1) Werte in Klammern: Summen für alte Bundesländer

**Tab. 100100.2:**

**N<sub>2</sub>O-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>O für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten).  
I. Emissionen aus der **Anwendung von Mineraldüngern**

Bericht:

SNAP 100100, IPCC 4.6

Rechenverfahren:

EMEP/CORINAIR Simpler Methodology entspricht IPCC 4.6; GAS-EM Kap. 4.1

Stand :

Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Baden-Württemberg	2,7	2,1	2,1	1,9	1,9	2,3	2,6	2,6	2,3	2,8	
Bayern	7,1	7,2	6,3	5,5	5,2	5,2	5,2	5,5	5,8	5,8	
Brandenburg	missing	missing	missing	missing	1,3	1,6	1,8	1,6	1,5	1,8	
Hessen	1,4	1,6	1,2	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,3	1,6	
Mecklenburg-Vorpommern	missing	missing	missing	missing	2,6	3,3	3,0	2,5	3,1	2,7	
Niedersachsen	6,8	5,7	6,2	5,9	5,8	6,7	6,4	6,2	6,2	6,5	
Nordrhein-Westfalen	5,3	4,5	5,1	5,4	4,7	4,5	4,3	4,2	4,3	5,3	
Rheinland-Pfalz	1,3	1,3	1,3	1,1	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,5	
Saarland	0,1	missing	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	
Sachsen	missing	missing	missing	missing	1,1	1,8	1,5	1,5	1,7	1,9	
Sachsen-Anhalt	missing	missing	missing	missing	1,9	2,0	2,5	2,3	2,5	2,9	
Schleswig-Holstein	3,8	3,6	3,3	3,3	3,4	3,7	3,5	3,6	3,6	3,6	
Thüringen	missing	missing	missing	missing	1,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	
Deutschland	(28,6)	(25,9)	(25,5)	(24,3)	31,0	34,5	34,3	33,8	34,7	36,8	1)
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	(0,03)	(0,03)	(0,03)	(0,02)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	

Bemerkungen:

1) Werte in Klammern: Summen für alte Bundesländer

**Tab. 100100.3:** **N<sub>2</sub>O-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>O für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten).  
II. Emissionen aus **Ernterückständen**

Bericht: SNAP 100100, IPCC 4.6  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology entspricht IPCC 4.6; GAS-EM Kap. 4.1  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Bayern	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Brandenburg	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Hessen	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Mecklenburg-Vorpommern	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Niedersachsen	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Nordrhein-Westfalen	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Rheinland-Pfalz	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Saarland	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sachsen	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Sachsen-Anhalt	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Schleswig-Holstein	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Thüringen	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Deutschland	4,3	4,0	3,8	3,8	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	3,8
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Bemerkungen:

**Tab. 100100.4:** **N<sub>2</sub>O-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>O für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
 III. Emissionen aus Stickstoff-Einträgen beim **Weidegang**

Bericht: SNAP 100100, IPCC 4.6  
 Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology entspricht IPCC 4.6; GAS-EM Kap. 4.1  
 Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Bayern	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4
Brandenburg	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Hessen	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Mecklenburg-Vorpommern	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Niedersachsen	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Nordrhein-Westfalen	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6
Rheinland-Pfalz	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Saarland	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sachsen	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Sachsen-Anhalt	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Schleswig-Holstein	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6
Thüringen	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Deutschland	7,5	6,5	6,2	6,0	6,1	6,1	6,1	5,9	5,8	5,9
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Bemerkungen:

**Tab. 100100.5:**

**N<sub>2</sub>O-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>O für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
 IV. **Indirekte Emissionen** als Folge von Depositionen von Spezies aus landwirtschaftlicher Emissionen

Bericht:

SNAP 100100, IPCC 4.6

Rechenverfahren:

EMEP/CORINAIR Simpler Methodology entspricht IPCC 4.6; GAS-EM Kap. 4.1

Stand:

Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bayern	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2
Brandenburg	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
Hessen	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Mecklenburg-Vorpommern	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Niedersachsen	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Nordrhein-Westfalen	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8
Rheinland-Pfalz	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Saarland	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sachsen	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Sachsen-Anhalt	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Schleswig-Holstein	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Thüringen	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Deutschland	7,1	6,3	6,1	6,0	5,9	5,9	5,9	5,8	5,8	5,8
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Bemerkungen:

**Tab. 100100.6:** **N<sub>2</sub>O-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>O für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
**V. Indirekte Emissionen** als Folge von Stickstoff-Austrägen in Grundwässer

Bericht: SNAP 100100, IPCC 4.6  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology entspricht IPCC 4.6; GAS-EM Kap. 4.1  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	2,0	1,7	1,7	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9
Bayern	5,4	5,4	5,0	4,6	4,5	4,4	4,4	4,5	4,6	4,6
Brandenburg	0,8	0,5	0,5	0,5	0,9	1,0	1,1	1,0	1,0	1,1
Hessen	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0
Mecklenburg-Vorpommern	0,8	0,5	0,4	0,4	1,3	1,6	1,5	1,3	1,5	1,4
Niedersachsen	4,9	4,4	4,5	4,4	4,3	4,7	4,6	4,5	4,5	4,6
Nordrhein-Westfalen	3,5	3,1	3,3	3,4	3,1	3,0	2,9	2,9	2,9	3,3
Rheinland-Pfalz	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,5
Saarland	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Sachsen	0,7	0,5	0,4	0,4	0,8	1,1	0,9	0,9	1,0	1,0
Sachsen-Anhalt	0,7	0,4	0,3	0,3	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,4
Schleswig-Holstein	2,3	2,2	2,1	2,1	2,1	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1
Thüringen	0,6	0,4	0,3	0,3	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Deutschland	23,5	20,8	20,2	19,6	21,9	23,1	23,0	22,6	22,9	23,6
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Bemerkungen:



**Tab. 100100.7:** **N<sub>2</sub>O-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>O für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
VI. Emissionen aus bewirtschafteten **organischen Böden**

Bericht: SNAP 100100, IPCC 4.6  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology entspricht IPCC 4.6; GAS-EM Kap. 4.1  
Stand : Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
Bayern	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Brandenburg	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
Hessen	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Mecklenburg-Vorpommern	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
Niedersachsen	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52
Nordrhein-Westfalen	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Rheinland-Pfalz	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Saarland	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Sachsen	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sachsen-Anhalt	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
Schleswig-Holstein	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Thüringen	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Deutschland	10,59	10,59	10,59	10,59	10,59	10,59	10,59	10,59	10,59	10,59
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Bemerkungen:

**Tab. 100100.8:** **N<sub>2</sub>O-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>O für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
VII. Summe der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus **gedüngten Kulturen**

Bericht: SNAP 100100, IPCC 4.6  
Rechenverfahren: Summe der Emissionen aus Tab, 100100.2 bis 100100.7  
Stand : Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	6,5	5,5	5,5	5,3	5,3	5,8	6,1	6,2	5,7	6,4
Bayern	17,5	17,4	16,0	14,7	14,3	14,3	14,3	14,6	14,9	14,9
Brandenburg	3,7	3,1	3,0	2,9	4,7	5,1	5,4	5,2	5,0	5,4
Hessen	3,2	3,3	2,7	2,6	2,5	2,7	2,8	2,9	2,8	3,2
Mecklenburg-Vorpommern	4,0	3,4	3,2	3,2	6,7	7,6	7,2	6,5	7,3	6,9
Niedersachsen	17,4	15,7	16,4	15,9	15,7	17,1	16,6	16,3	16,3	16,6
Nordrhein-Westfalen	11,2	9,9	10,7	11,0	10,1	9,7	9,4	9,2	9,4	10,7
Rheinland-Pfalz	2,7	2,7	2,5	2,3	2,1	2,1	2,2	2,1	2,2	1,5
Saarland	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2
Sachsen	1,9	1,3	1,1	1,1	2,7	3,6	3,2	3,1	3,5	3,6
Sachsen-Anhalt	2,4	1,6	1,4	1,4	3,9	4,2	4,8	4,5	4,9	5,4
Schleswig-Holstein	8,4	8,0	7,6	7,6	7,6	8,0	7,8	7,8	7,9	7,9
Thüringen	1,5	1,1	1,0	0,9	2,3	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7
Deutschland	81,6	74,1	72,4	70,2	79,3	83,9	83,6	82,5	83,7	86,4
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09

Bemerkungen:

**Tab. 100100.9:** **NO-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NO für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
I. Emissionen aus der Anwendung von **Mineraldüngern**

Bericht: SNAP 100100  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology; GAS-EM Kap. 4.1  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Baden-Württemberg	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	1,0	
Bayern	2,5	2,5	2,2	1,9	1,8	1,8	1,8	1,9	2,0	2,0	
Brandenburg	missing	missing	missing	missing	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	
Hessen	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	
Mecklenburg-Vorpommern	missing	missing	missing	missing	0,9	1,1	1,0	0,9	1,1	1,0	
Niedersachsen	2,4	2,0	2,2	2,1	2,0	2,4	2,2	2,2	2,2	2,3	
Nordrhein-Westfalen	1,9	1,6	1,8	1,9	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,8	
Rheinland-Pfalz	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,2	
Saarland	0,0	missing	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Sachsen	missing	missing	missing	missing	0,4	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	
Sachsen-Anhalt	missing	missing	missing	missing	0,7	0,7	0,9	0,8	0,9	1,0	
Schleswig-Holstein	1,3	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2	
Thüringen	missing	missing	missing	missing	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	
Deutschland	(10,0)	(9,1)	(8,9)	(8,5)	10,8	12,0	12,0	11,8	12,1	12,9	1)
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	(0,01)	(0,01)	(0,01)	(0,01)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Bemerkungen: 1) Werte in Klammern: Summen für alte Bundesländer

**Tab. 100200.1:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
I. Emissionen aus **Leguminosenanbau**

Bericht: SNAP 100200  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology; GAS-EM Kap. 4.2  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
Bayern	0,13	0,13	0,14	0,14	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17	0,16
Brandenburg	0,09	0,07	0,05	0,06	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06
Hessen	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Mecklenburg-Vorpommern	0,08	0,05	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04
Niedersachsen	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Nordrhein-Westfalen	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Rheinland-Pfalz	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Saarland	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sachsen	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
Sachsen-Anhalt	0,12	0,05	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,06
Schleswig-Holstein	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Thüringen	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04
Deutschland	0,70	0,53	0,45	0,48	0,49	0,50	0,51	0,54	0,58	0,54
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Bemerkungen:

**Tab. 100200.2:**

**N<sub>2</sub>O-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>O für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
I. Emissionen aus **Leguminosenanbau**

Bericht: SNAP 100200, IPCC 4.6  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology; GAS-EM Kap. 4.2  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	0,00100	0,00092	0,00093	0,00094	0,00090	0,00086	0,00084	0,00085	0,00090	0,00085
Bayern	0,00215	0,00210	0,00221	0,00231	0,00281	0,00272	0,00262	0,00269	0,00278	0,00262
Brandenburg	0,00147	0,00107	0,00086	0,00093	0,00081	0,00091	0,00109	0,00112	0,00113	0,00100
Hessen	0,00017	0,00014	0,00013	0,00015	0,00017	0,00018	0,00019	0,00023	0,00027	0,00026
Mecklenburg-Vorpommern	0,00130	0,00075	0,00038	0,00045	0,00042	0,00055	0,00059	0,00069	0,00074	0,00063
Niedersachsen	0,00029	0,00025	0,00021	0,00017	0,00019	0,00017	0,00017	0,00020	0,00021	0,00022
Nordrhein-Westfalen	0,00023	0,00023	0,00016	0,00020	0,00018	0,00014	0,00014	0,00014	0,00015	0,00015
Rheinland-Pfalz	0,00018	0,00015	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018	0,00020	0,00022	0,00025	0,00026
Saarland	0,00002	0,00002	0,00002	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004	0,00005	0,00004
Sachsen	0,00133	0,00114	0,00099	0,00092	0,00076	0,00080	0,00080	0,00088	0,00097	0,00091
Sachsen-Anhalt	0,00191	0,00089	0,00056	0,00072	0,00067	0,00077	0,00084	0,00098	0,00107	0,00096
Schleswig-Holstein	0,00009	0,00007	0,00007	0,00008	0,00011	0,00009	0,00009	0,00012	0,00013	0,00013
Thüringen	0,00120	0,00086	0,00066	0,00061	0,00061	0,00060	0,00060	0,00065	0,00076	0,00072
Deutschland	0,01134	0,00857	0,00736	0,00770	0,00786	0,00801	0,00821	0,00881	0,00940	0,00874
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Bemerkungen:

**Tab. 100200.3:** **NO-Emissionen** in Gg a-1 NO für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
I. Emissionen aus **Leguminosenanbau**

Bericht: SNAP 100200  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology; GAS-EM Kap. 4.2  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg										
Bayern										
Brandenburg										
Hessen										
Mecklenburg-Vorpommern										
Niedersachsen										
Nordrhein-Westfalen										
Rheinland-Pfalz										
Saarland										
Sachsen										
Sachsen-Anhalt										
Schleswig-Holstein										
Thüringen										
Deutschland										
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)										

Bemerkungen: Wegen fehlender Verfahren derzeit noch keine Berechnung

**Tab. 100400.1:** **CH<sub>4</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> CH<sub>4</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten).  
I. Emissionen aus der Tierhaltung (**enteric fermentation**)

Bericht: SNAP 100400, IPCC 4.2  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology; GAS-EM Kap. 4.4  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	111,7	105,8	101,8	100,0	100,0	99,2	98,1	94,2	91,4	89,9
Bayern	334,0	321,9	306,7	300,6	298,3	293,5	293,0	286,1	279,8	279,6
Brandenburg	73,1	53,4	47,4	47,1	47,4	48,0	48,4	47,0	45,9	46,0
Hessen	49,3	45,6	44,0	42,3	41,7	41,6	41,4	39,7	39,4	39,3
Mecklenburg-Vorpommern	75,3	50,4	42,1	44,2	43,5	44,3	44,1	42,7	40,8	40,8
Niedersachsen	220,1	210,0	205,2	200,8	202,7	203,3	202,0	195,3	194,5	192,8
Nordrhein-Westfalen	134,7	125,7	123,9	120,9	122,1	120,1	118,1	117,9	110,7	108,9
Rheinland-Pfalz	37,3	35,4	33,8	33,4	33,1	33,0	32,9	31,7	30,8	30,8
Saarland	4,5	4,4	4,2	4,2	4,1	4,1	4,2	4,1	4,0	4,1
Sachsen	77,1	50,0	45,2	44,2	46,2	45,6	44,8	44,4	42,8	41,5
Sachsen-Anhalt	62,0	35,2	32,2	31,3	32,1	32,6	31,9	30,9	29,5	30,2
Schleswig-Holstein	101,9	98,5	95,9	94,8	93,1	93,0	93,0	89,1	89,1	88,5
Thüringen	54,1	37,3	34,2	33,7	33,8	33,4	32,9	32,6	31,1	30,1
Deutschland	1335,0	1173,6	1116,5	1097,5	1098,3	1091,6	1084,8	1055,7	1029,7	1022,5
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	1,33	1,17	1,12	1,10	1,10	1,09	1,08	1,06	1,03	1,02

Bemerkungen:

**Tab. 100400.2:** **CH<sub>4</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> CH<sub>4</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
II. Emissionen aus **Wirtschaftsdüngern**

Bericht: SNAP 100400, IPCC 4.2  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology entspricht IPCC 4.2; GAS-EM Kap. 4.4  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	21,3	20,4	20,0	20,0	19,8	19,5	19,5	19,1	19,0	18,6
Bayern	55,7	54,0	52,3	51,3	50,8	49,3	49,4	48,9	48,5	48,4
Brandenburg	15,9	10,6	9,5	9,3	8,8	8,7	8,8	8,7	8,7	8,6
Hessen	9,5	8,9	8,7	8,4	8,2	8,0	8,0	7,8	7,9	7,9
Mecklenburg-Vorpommern	15,8	10,3	8,6	8,4	8,0	7,9	8,0	7,9	7,7	7,7
Niedersachsen	52,0	50,1	50,4	49,8	49,4	49,1	49,6	49,2	50,2	50,3
Nordrhein-Westfalen	35,0	33,1	33,5	33,1	32,8	32,2	32,3	40,0	32,6	32,4
Rheinland-Pfalz	6,5	6,2	5,9	5,8	5,7	5,5	5,5	5,4	5,3	5,3
Saarland	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Sachsen	14,8	9,3	8,4	8,0	8,2	8,0	7,9	7,9	7,8	7,7
Sachsen-Anhalt	14,0	7,8	7,1	6,9	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,9
Schleswig-Holstein	17,6	17,0	16,7	16,5	16,0	15,9	16,0	15,5	15,6	15,5
Thüringen	10,9	7,2	6,8	6,6	6,5	6,4	6,4	6,4	6,3	6,0
Deutschland	269,8	235,6	228,6	224,9	221,6	217,9	218,8	223,9	217,0	215,9
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	0,27	0,24	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22

Bemerkungen:



**Tab. 100400.3:**

**CH<sub>4</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> CH<sub>4</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
 III. Summe der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Tierhaltung und Wirtschaftsdüngern

Bericht:

Rechenverfahren:

Summe der Emissionen aus Tab. 100400.1 und 100400.2

Stand:

Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	133,0	126,2	121,8	120,0	119,8	118,7	117,5	113,3	110,4	108,6
Bayern	389,7	375,9	358,9	351,9	349,1	342,8	342,5	335,0	328,3	328,0
Brandenburg	89,0	64,0	56,9	56,4	56,1	56,7	57,2	55,7	54,6	54,6
Hessen	58,8	54,5	52,6	50,8	49,9	49,6	49,4	47,5	47,3	47,1
Mecklenburg-Vorpommern	91,1	60,8	50,7	52,6	51,5	52,2	52,1	50,6	48,5	48,5
Niedersachsen	272,1	260,1	255,6	250,6	252,1	252,3	251,6	244,5	244,7	243,1
Nordrhein-Westfalen	169,7	158,8	157,4	154,0	154,9	152,2	150,4	157,8	143,4	141,2
Rheinland-Pfalz	43,8	41,6	39,8	39,3	38,8	38,5	38,4	37,1	36,1	36,1
Saarland	5,3	5,1	4,9	4,9	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7
Sachsen	91,8	59,2	53,5	52,2	54,4	53,6	52,8	52,3	50,7	49,2
Sachsen-Anhalt	76,0	43,0	39,3	38,2	38,8	39,3	38,5	37,5	36,2	37,1
Schleswig-Holstein	119,5	115,5	112,6	111,3	109,2	108,9	109,0	104,6	104,7	104,0
Thüringen	65,1	44,5	41,0	40,4	40,3	39,9	39,3	39,0	37,3	36,1
Deutschland	1604,8	1409,2	1345,1	1322,4	1319,9	1309,5	1303,6	1279,6	1246,7	1238,4
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	1,60	1,41	1,35	1,32	1,32	1,31	1,30	1,28	1,25	1,24

Bemerkungen:

**Tab. 100500.1:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
I. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Milchkuh-Haltung**

Bericht: SNAP 100501  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Detailed Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.1  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					18,1		17,6			
Bayern					51,3		50,1			
Brandenburg					8,5		8,6			
Hessen					7,1		6,9			
Mecklenburg-Vorpommern					8,9		9,1			
Niedersachsen					34,0		33,9			
Nordrhein-Westfalen					15,6		15,1			
Rheinland-Pfalz					5,3		5,2			
Saarland					0,6		0,6			
Sachsen					8,8		8,7			
Sachsen-Anhalt					6,2		6,2			
Schleswig-Holstein					18,3		18,2			
Thüringen					5,9		5,7			
Deutschland					188,4		185,8			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,19		0,19			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.2:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
II. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Kälber-Haltung**

Bericht: SNAP 100502  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Detailed Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.2  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					1,5		1,4			
Bayern					4,2		4,2			
Brandenburg					0,6		0,5			
Hessen					0,6		0,6			
Mecklenburg-Vorpommern					0,5		0,5			
Niedersachsen					3,3		3,3			
Nordrhein-Westfalen					1,7		1,6			
Rheinland-Pfalz					0,5		0,4			
Saarland					0,1		0,1			
Sachsen					0,6		0,5			
Sachsen-Anhalt					0,4		0,4			
Schleswig-Holstein					1,6		1,6			
Thüringen					0,5		0,5			
Deutschland					16,0		15,6			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,02		0,02			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.3:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
 III. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Bullen-Haltung**

Bericht: SNAP 100502  
 Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Detailed Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.2  
 Stand : Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					3,9		3,5			
Bayern					10,6		9,8			
Brandenburg					1,6		1,4			
Hessen					1,8		1,7			
Mecklenburg-Vorpommern					1,3		1,0			
Niedersachsen					10,8		10,1			
Nordrhein-Westfalen					7,2		6,4			
Rheinland-Pfalz					1,3		1,3			
Saarland					0,2		0,2			
Sachsen					1,2		0,9			
Sachsen-Anhalt					0,9		0,7			
Schleswig-Holstein					4,4		4,2			
Thüringen					1,0		0,8			
Deutschland					46,1		41,9			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,05		0,04			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.4:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
IV. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Färsen-Haltung**

Bericht: SNAP 100502  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Detailed Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.2  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					6,0		6,1			
Bayern					16,5		16,8			
Brandenburg					2,3		2,5			
Hessen					2,5		2,6			
Mecklenburg-Vorpommern					2,0		2,2			
Niedersachsen					9,4		9,6			
Nordrhein-Westfalen					5,1		5,2			
Rheinland-Pfalz					2,1		2,1			
Saarland					0,2		0,2			
Sachsen					2,5		2,6			
Sachsen-Anhalt					1,8		1,9			
Schleswig-Holstein					5,3		5,4			
Thüringen					2,0		2,1			
Deutschland					57,9		59,5			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,06		0,06			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.5:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
V. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Mutterkuh-Haltung**

Bericht: SNAP 100502  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Detailed Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.2.2  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					1,5		1,7			
Bayern					2,1		2,3			
Brandenburg					1,1		1,5			
Hessen					1,0		1,3			
Mecklenburg-Vorpommern					1,0		1,1			
Niedersachsen					1,4		1,5			
Nordrhein-Westfalen					1,4		1,5			
Rheinland-Pfalz					1,4		1,4			
Saarland					0,2		0,2			
Sachsen					0,8		0,9			
Sachsen-Anhalt					0,4		0,6			
Schleswig-Holstein					0,9		1,0			
Thüringen					0,7		0,9			
Deutschland					14,1		15,9			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,01		0,02			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.6:**

**NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
 VI. Summe der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Rinderhaltung, ohne Milchkühe (**other cattle**)

Bericht:

Rechenverfahren:

Summe der Emissionen aus Tab. 100500.2 bis 100500.5

Stand:

Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					12,9		12,8			
Bayern					33,5		33,1			
Brandenburg					5,6		6,0			
Hessen					6,0		6,1			
Mecklenburg-Vorpommern					4,8		4,9			
Niedersachsen					24,8		24,5			
Nordrhein-Westfalen					15,4		14,8			
Rheinland-Pfalz					5,2		5,3			
Saarland					0,7		0,7			
Sachsen					5,2		5,0			
Sachsen-Anhalt					3,5		3,5			
Schleswig-Holstein					12,1		12,2			
Thüringen					4,2		4,2			
Deutschland					134,0		132,9			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,13		0,13			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.7:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
**VII. Summe der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Rinder-Haltung**

Bericht:  
 Rechenverfahren: Summe der Emissionen aus Tab. 100500.1 bis 100500.5  
 Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					30,9		30,4			
Bayern					84,7		83,2			
Brandenburg					14,2		14,6			
Hessen					13,0		13,0			
Mecklenburg-Vorpommern					13,7		14,0			
Niedersachsen					58,8		58,3			
Nordrhein-Westfalen					31,1		29,9			
Rheinland-Pfalz					10,5		10,4			
Saarland					1,3		1,3			
Sachsen					14,0		13,7			
Sachsen-Anhalt					9,7		9,7			
Schleswig-Holstein					30,4		30,3			
Thüringen					10,0		9,9			
Deutschland					322,4		318,7			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,32		0,32			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.



**Tab. 100500.8:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
VIII. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Mastschweine-Haltung**

Bericht: SNAP 100503  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Detailed Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.3  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					5,8		5,7			
Bayern					12,6		12,1			
Brandenburg					2,7		2,5			
Hessen					3,8		3,6			
Mecklenburg-Vorpommern					2,3		2,1			
Niedersachsen					23,5		23,9			
Nordrhein-Westfalen					17,3		17,4			
Rheinland-Pfalz					1,6		1,5			
Saarland					0,1		0,1			
Sachsen					2,1		1,8			
Sachsen-Anhalt					2,7		2,7			
Schleswig-Holstein					4,5		4,4			
Thüringen					2,3		2,3			
Deutschland					81,3		80,1			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,08		0,08			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.9:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
IX. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Sauen-Haltung**

Bericht: SNAP 100504  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Detailed Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.4  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					5,0		4,8			
Bayern					7,4		7,2			
Brandenburg					2,2		2,2			
Hessen					1,7		1,6			
Mecklenburg-Vorpommern					1,6		1,6			
Niedersachsen					8,5		8,3			
Nordrhein-Westfalen					6,8		6,7			
Rheinland-Pfalz					0,8		0,7			
Saarland					0,1		0,0			
Sachsen					1,2		1,2			
Sachsen-Anhalt					1,4		1,3			
Schleswig-Holstein					2,0		1,9			
Thüringen					1,3		1,2			
Deutschland					39,9		38,9			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,04		0,04			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.10:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
**X. Summe der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Schweine-Haltung**

Bericht:  
 Rechenverfahren: Summe der Emissionen aus Tab. 100500.8 und 100500.9  
 Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					10,8		10,6			
Bayern					20,0		19,2			
Brandenburg					4,9		4,6			
Hessen					5,5		5,2			
Mecklenburg-Vorpommern					3,9		3,7			
Niedersachsen					32,0		32,2			
Nordrhein-Westfalen					24,1		24,1			
Rheinland-Pfalz					2,4		2,2			
Saarland					0,2		0,2			
Sachsen					3,3		3,0			
Sachsen-Anhalt					4,1		4,1			
Schleswig-Holstein					6,5		6,3			
Thüringen					3,7		3,5			
Deutschland					121,3		118,9			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,12		0,12			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.11:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
XI. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Schaf-Haltung**

Bericht: SNAP 100505  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Improved Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.5  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					0,25		0,26			
Bayern					0,34		0,35			
Brandenburg					0,11		0,12			
Hessen					0,15		0,15			
Mecklenburg-Vorpommern					0,06		0,06			
Niedersachsen					0,20		0,20			
Nordrhein-Westfalen					0,22		0,21			
Rheinland-Pfalz					0,13		0,13			
Saarland					0,02		0,02			
Sachsen					0,10		0,10			
Sachsen-Anhalt					0,12		0,12			
Schleswig-Holstein					0,22		0,20			
Thüringen					0,22		0,22			
Deutschland					2,13		2,13			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,00		0,00			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.12:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
XII. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Pferde-Haltung**

Bericht: SNAP 100506  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Improved Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.6  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					1,1		1,2			
Bayern					1,4		1,6			
Brandenburg					0,3		0,3			
Hessen					0,6		0,7			
Mecklenburg-Vorpommern					0,2		0,3			
Niedersachsen					1,5		1,6			
Nordrhein-Westfalen					1,5		1,7			
Rheinland-Pfalz					0,4		0,4			
Saarland					0,1		0,1			
Sachsen					0,2		0,2			
Sachsen-Anhalt					0,2		0,3			
Schleswig-Holstein					0,7		0,8			
Thüringen					0,2		0,2			
Deutschland					8,5		9,3			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,01		0,01			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.13:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
XIII. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Legehennen-Haltung**

Bericht: SNAP 100507  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Detailed Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.7  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					1,5		1,4			
Bayern					2,5		2,3			
Brandenburg					0,9		0,9			
Hessen					0,8		0,8			
Mecklenburg-Vorpommern					0,5		0,5			
Niedersachsen					6,6		6,5			
Nordrhein-Westfalen					2,4		2,4			
Rheinland-Pfalz					0,5		0,5			
Saarland					0,1		0,1			
Sachsen					1,1		1,1			
Sachsen-Anhalt					1,0		0,8			
Schleswig-Holstein					0,7		0,7			
Thüringen					0,6		0,7			
Deutschland					19,2		18,5			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,02		0,02			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.14:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
XIV. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Haltung von Masthähnchen und -hühnchen**

Bericht: SNAP 100508  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Improved Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.8  
Stand: Januar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					0,1		0,1			
Bayern					0,5		0,5			
Brandenburg					0,3		0,3			
Hessen					0,0		0,0			
Mecklenburg-Vorpommern					0,7		0,8			
Niedersachsen					3,0		3,1			
Nordrhein-Westfalen					0,3		0,3			
Rheinland-Pfalz					0,0		0,0			
Saarland					0,1		0,1			
Sachsen					0,2		0,2			
Sachsen-Anhalt					0,4		0,5			
Schleswig-Holstein					0,1		0,1			
Thüringen					0,1		0,2			
Deutschland					5,8		6,2			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,01		0,01			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.15:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
XV. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Junghennen-Haltung**

Bericht: SNAP 100509  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Improved Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.9  
Stand: Januar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					0,15		0,17			
Bayern					0,26		0,24			
Brandenburg					0,07		0,07			
Hessen					0,08		0,08			
Mecklenburg-Vorpommern					0,17		0,05			
Niedersachsen					1,07		1,27			
Nordrhein-Westfalen					0,40		0,44			
Rheinland-Pfalz					0,17		0,11			
Saarland					0,01		0,01			
Sachsen					0,23		0,18			
Sachsen-Anhalt					0,12		0,13			
Schleswig-Holstein					0,06		0,05			
Thüringen					0,18		0,20			
Deutschland					2,95		3,01			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,00		0,00			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.



**Tab. 100500.16:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
XVI. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Gänse-Haltung**

Bericht: SNAP 100509  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Improved Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.9  
Stand: Januar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					0,012		0,013			
Bayern					0,031		0,031			
Brandenburg					0,010		0,007			
Hessen					0,007		0,008			
Mecklenburg-Vorpommern					0,003		0,003			
Niedersachsen					0,041		0,048			
Nordrhein-Westfalen					0,045		0,050			
Rheinland-Pfalz					0,004		0,004			
Saarland					0,012		0,013			
Sachsen					0,016		0,021			
Sachsen-Anhalt					0,004		0,003			
Schleswig-Holstein					0,013		0,013			
Thüringen					0,005		0,006			
Deutschland					0,202		0,218			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,00		0,00			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.17:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
XVII. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Enten-Haltung**

Bericht: SNAP 100509  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Improved Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.9  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					0,014		0,014			
Bayern					0,092		0,123			
Brandenburg					0,191		0,233			
Hessen					0,006		0,006			
Mecklenburg-Vorpommern					0,019		0,031			
Niedersachsen					0,163		0,174			
Nordrhein-Westfalen					0,030		0,026			
Rheinland-Pfalz					0,003		0,002			
Saarland					0,014		0,014			
Sachsen					0,016		0,014			
Sachsen-Anhalt					0,006		0,005			
Schleswig-Holstein					0,024		0,017			
Thüringen					0,015		0,013			
Deutschland					0,591		0,672			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,00		0,00			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.18:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
XVIII. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der **Puten-Haltung**

Bericht: SNAP 100509  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Improved Methodology; GAS-EM Kap. 4.5.1.9  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					0,67		0,66			
Bayern					0,61		0,58			
Brandenburg					0,24		0,28			
Hessen					0,07		0,12			
Mecklenburg-Vorpommern					0,17		0,20			
Niedersachsen					3,07		3,56			
Nordrhein-Westfalen					1,10		1,11			
Rheinland-Pfalz					0,02		0,02			
Saarland					0,67		0,66			
Sachsen					0,17		0,11			
Sachsen-Anhalt					0,06		0,16			
Schleswig-Holstein					0,09		0,10			
Thüringen					0,08		0,09			
Deutschland					7,02		7,66			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,01		0,01			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.19:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a-1 NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
XIX. Summe der **NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Geflügel-Haltung (ohne Legehennen, Masthähnchen und –hühnchen)**

Bericht: SNAP 100509  
Rechenverfahren: Summe der Emissionen aus Tab. 100500.15 bis 100500.18  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					0,8		0,9			
Bayern					1,0		1,0			
Brandenburg					0,5		0,6			
Hessen					0,2		0,2			
Mecklenburg-Vorpommern					0,4		0,3			
Niedersachsen					4,3		5,1			
Nordrhein-Westfalen					1,6		1,6			
Rheinland-Pfalz					0,2		0,1			
Saarland					0,7		0,7			
Sachsen					0,4		0,3			
Sachsen-Anhalt					0,2		0,3			
Schleswig-Holstein					0,2		0,2			
Thüringen					0,3		0,3			
Deutschland					10,8		11,6			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,01		0,01			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.20:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
XX. Summe der **NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Geflügel-Haltung**

Bericht: SNAP 100500  
Rechenverfahren: Summe der Emissionen aus Tab. 100500.13 bis 100500.18  
Stand: Januar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					2,5		2,4			
Bayern					4,0		3,8			
Brandenburg					1,7		1,8			
Hessen					1,0		1,0			
Mecklenburg-Vorpommern					1,5		1,6			
Niedersachsen					14,0		14,7			
Nordrhein-Westfalen					4,2		4,2			
Rheinland-Pfalz					0,7		0,7			
Saarland					0,9		0,9			
Sachsen					1,7		1,6			
Sachsen-Anhalt					1,6		1,6			
Schleswig-Holstein					1,0		1,0			
Thüringen					1,0		1,1			
Deutschland					35,8		36,3			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,04		0,04			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.21:** **NH<sub>3</sub>-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub> für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
**XXI. Summe der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung**

Bericht: SNAP 100500  
 Rechenverfahren: Summe der Emissionen aus Tab. 100500.7, 100500.10, 100500.11, 100500.12 und 100500.20  
 Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg					45,5		44,7			
Bayern					110,5		108,1			
Brandenburg					21,1		21,4			
Hessen					20,2		20,0			
Mecklenburg-Vorpommern					19,4		19,6			
Niedersachsen					106,4		107,0			
Nordrhein-Westfalen					61,2		60,2			
Rheinland-Pfalz					14,2		13,9			
Saarland					2,5		2,4			
Sachsen					19,2		18,6			
Sachsen-Anhalt					15,7		15,8			
Schleswig-Holstein					38,9		38,6			
Thüringen					15,1		15,0			
Deutschland					490,0		485,4			
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)					0,49		0,49			

Bemerkungen: 1) Nur für die Jahre 1994 und 1996 liegen vollständige Ergebnisse der Viehzählungen und die notwendigen Verteilungsparameter für Fütterung und Haltung der Tiere sowie für Lagerung und Ausbringung vor.

**Tab. 100500.22:** **N<sub>2</sub>O-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>O für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
I. N<sub>2</sub>O-Emissionen aus dem **Wirtschaftsdünger-Management**

Bericht: SNAP 100500, IPCC 4.2  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology entspricht IPCC 4.2; GAS-EM Kap. 4.5.2  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	2,1	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8
Bayern	5,5	5,3	5,1	5,0	5,0	4,9	4,9	4,8	4,8	4,8
Brandenburg	1,6	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Hessen	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Mecklenburg-Vorpommern	1,5	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Niedersachsen	5,0	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7	4,8	4,7	4,8	4,8
Nordrhein-Westfalen	3,3	3,1	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0	3,6	3,0	3,0
Rheinland-Pfalz	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Saarland	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Sachsen	1,5	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Sachsen-Anhalt	1,4	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Schleswig-Holstein	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Thüringen	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6
Deutschland	26,4	23,1	22,3	21,9	21,7	21,4	21,4	21,7	21,1	21,1
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Bemerkungen:

**Tab. 100500.23:** **N<sub>2</sub>O-Emissionen** in Gg a<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>O für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)  
II. N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der **Wirtschaftsdünger-Anwendung**

Bericht: SNAP 100500, IPCC 4.2  
Rechenverfahren: EMEP/CORINAIR Simpler Methodology entspricht IPCC 4.2; GAS-EM Kap. 4.5.2  
Stand: Februar 2001

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
Bayern	6,5	6,3	6,1	6,0	5,9	5,8	5,8	5,7	5,6	5,6
Brandenburg	1,9	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
Hessen	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Mecklenburg-Vorpommern	1,8	1,2	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9
Niedersachsen	6,0	5,8	5,8	5,7	5,7	5,7	5,8	5,7	5,8	5,7
Nordrhein-Westfalen	3,8	3,5	3,6	3,5	3,5	3,5	3,5	3,4	3,4	3,4
Rheinland-Pfalz	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
Saarland	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Sachsen	1,7	1,1	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
Sachsen-Anhalt	1,6	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Schleswig-Holstein	2,1	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8
Thüringen	1,3	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7
Deutschland	30,9	27,0	26,1	25,6	25,4	25,1	25,2	24,7	24,7	24,5
Deutschland in Tg a <sup>-1</sup> (gerundet)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02

Bemerkungen:



Tabelle

Emissionen aus der Landwirtschaft in Tg a<sup>-1</sup> für die Bundesrepublik Deutschland (ohne Stadtstaaten)

Schadstoff (Kurzname)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
NH <sub>3</sub>					0,57		0,58			
N <sub>2</sub> O					0,13		0,13			
CH <sub>4</sub>					1,32		1,30			
NO					0,01		0,01			



## Anhang

### Übersicht A1

## Datenanforderung für eine Sonderauswertung der Kreisstatistik 1995

<b>Ziel</b>	Bei der Berechnung von NH <sub>3</sub> -Emissionen werden Tierarten, Haltungs- bzw. Aufstallungsformen und nicht zuletzt der Form, in der die tierischen Ausscheidungen gelagert und ausgebracht werden (als Festmist oder als Gülle), unterschiedliche Emissionskoeffizienten zugeordnet. Auf der Basis verlässlicher Informationen zu diesen Faktoren soll eine Berechnung von Ammoniak-Emissionen für Deutschland durchgeführt werden.
<b>Problem</b>	<p>In der uns vorliegenden Datenquelle  <b>Kreisstatistik Teil I: Betriebssystematik: Bodennutzung und Viehhaltung 1991 – Mindestveröffentlichungsprogramm; Teil III: Hofnachfolge, Milch-Referenzmenge, Vermietung, Buchführung, Gülle (Neue Merkmale)</b></p> <p>sind folgende Angaben enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• landw. Betriebe mit Gülleanfall</li> <li>• Güllelagerkapazität 1000 m<sup>3</sup> in landw. Betrieben mit Gülle</li> <li>• Dungeinheiten in landwirtschaftlichen Betrieben mit Gülleanfall</li> <li>• LF in landw. Betrieben mit Gülleanfall</li> <li>• Ackerland in landw. Betrieben mit Gülleanfall</li> </ul> <p>Die uns vorliegenden Daten des Mindestveröffentlichungsprogramms sind nach der Betriebsgröße in Hektar geschichtet. Diese Angaben sind für das Projektziel nur begrenzt verwertbar. Für eine Abschätzung derzeitiger und zukünftiger Emissionsentwicklungen sowie Minderungsszenarien sollen regionale Informationen darüber zusammengestellt werden, ab welcher Tierzahl Fest- oder Flüssigmistverfahren überwiegen. Dazu ist eine Sonderauswertung der Daten zu Gülleanfall und Lagerung auf Kreisebene notwendig.</p>
<b>Regionale Abgrenzung</b>	Die an der FAL vorliegenden Daten lassen vermuten, dass die Daten zu Gülleanfall und –lagerung im Jahr 1991 nur in den alten Bundesländern erhoben wurden. Da für die neuen Länder auch andere Datengrundlagen genutzt werden sollen, kann sich die Sonderauswertung auf die westdeutschen, alten Länder beschränken.
<b>Korrespondenz-adresse</b>	<p>Für Rückfragen und die Versendung der Daten verwenden Sie bitte die folgende Anschrift:</p> <p>Bernhard Osterburg          Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume          Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)          Bundesallee 50          38116 Braunschweig</p> <p>Tel. 0531-596 544          Fax. 0531-596 322          E-mail: <a href="mailto:bernhard.osterburg@fal.de">bernhard.osterburg@fal.de</a></p>

Benötigte Daten:	<p>Auf Grundlage der Daten der in der Anlage befindlichen Tabelle, Kreisstatistik Teil I (Betriebssystematik: Bodennutzung und Viehhaltung 1991) und Teil III (Hofnachfolge, Milch-Referenzmenge, Vermietung, Buchführung, Gülle (Neue Merkmale 1991)) soll eine neue Schichtung vorgenommen werden:</p> <p><b>1.: Zunächst sollen die Betriebe nach der Spezialisierung der Tierhaltung geschichtet werden; die Schichtung erfolgt nach Dungeinheiten (DE<sup>1</sup>):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anteil Rinder-DE an den gesamten DE <span style="float: right;">≥ 80 %</span> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. ... und Anteil der Milchvieh-DE an Rinder-DE <span style="float: right;">≥ 55 %</span></li> <li>1.2. ... und Anteil Milchvieh-DE an Rinder-DE &lt; 55 %</li> </ol> </li> <li>2. Anteil Schweine-DE an gesamten DE <span style="float: right;">≥ 80 %</span> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. ... und Anteil Mastschweine-DE an Schweine-DE <span style="float: right;">≥ 80 %</span></li> <li>2.2. ... und Anteil Mastschweine-DE an Schweine-DE &lt; 80 %</li> </ol> </li> <li>3. Anteil Geflügel-DE an gesamten DE <span style="float: right;">≥ 80 %</span></li> <li>4. alle anderen mit Gesamt-DE &gt; 0</li> </ol> <p><sup>1</sup> Hier benötigen wir Angaben zum verwendeten Dungeinheiten – Schlüssel</p> <p><b>2.: Innerhalb dieser Gruppen soll eine Schichtung nach jeweils unterschiedlichen Tierbestands-Größenklassen vorgenommen werden:</b></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th style="width: 15%;">Tierart</th> <th style="width: 10%;">anwenden auf Gruppe No.:</th> <th colspan="6">Anzahl Tiere (1.1 – 3.) Anzahl Dungeinheiten (nur 4)</th> </tr> <tr> <td>Milchvieh</td> <td>1.1</td> <td>1-9</td> <td>10-19</td> <td>20-39</td> <td>40-49</td> <td>50-59</td> <td>&gt; 60</td> </tr> <tr> <td>Rinder</td> <td>1.2</td> <td>1-9</td> <td>10-19</td> <td>20-49</td> <td>50-59</td> <td>60-99</td> <td>&gt; 100</td> </tr> <tr> <td>Schweine</td> <td>2.1, 2.2</td> <td>1-9</td> <td>10-49</td> <td>50-99</td> <td>100-399</td> <td>400-599</td> <td>&gt; 600</td> </tr> <tr> <td>Geflügel</td> <td>3.</td> <td>1-49</td> <td>50-99</td> <td>100-999</td> <td>1000-9999</td> <td>10000-29999</td> <td>&gt; 30000</td> </tr> <tr> <td>DE</td> <td>4.</td> <td>1-9</td> <td>10-19</td> <td>20-49</td> <td>50-59</td> <td>60-99</td> <td>&gt; 100</td> </tr> </table> <p><b>3.: Angaben zu folgenden Merkmalen auf Kreisebene für jede der nach Spezialisierung, Bestandgrößenklassen und Gülleanfall geschichteten Gruppen:</b></p> <p><b>1) Betriebe mit Mist und ohne Gülle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl Betriebe (Bereich Landwirtschaft) <b>ohne</b> Gülle</li> <li>- LF in Hektar (Bereich Landwirtschaft) in landw. Betrieben <b>ohne</b> Gülle</li> <li>- Ackerland in Hektar in landw. Betrieben <b>ohne</b> Gülle</li> <li>- Grünland in Hektar in landw. Betrieben <b>ohne</b> Gülle</li> <li>- Anzahl Rinder insgesamt in landw. Betrieben <b>ohne</b> Gülle</li> <li>- Anzahl Schweine insgesamt in landw. Betrieben <b>ohne</b> Gülle</li> <li>- Anzahl Geflügel insgesamt in landw. Betrieben <b>ohne</b> Gülle</li> <li>- Dungeinheiten insgesamt in landw. Betrieben <b>ohne</b> Gülle</li> </ul> <p><b>2) Daten wie unter 1) für Betriebe mit Mist und Gülle</b></p> <p><b>3) Daten wie unter 1) für Betriebe mit Gülle und ohne Mist</b></p> <p>Die Daten sollten nach Möglichkeit auf Datenträger zur Verfügung gestellt werden.</p> <p>Die Anfrage erfolgte im Januar 2000, die Auswertung, die für das Jahr 1995 erfolgte, wurde Ende September 2000 vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellt.</p>								Tierart	anwenden auf Gruppe No.:	Anzahl Tiere (1.1 – 3.) Anzahl Dungeinheiten (nur 4)						Milchvieh	1.1	1-9	10-19	20-39	40-49	50-59	> 60	Rinder	1.2	1-9	10-19	20-49	50-59	60-99	> 100	Schweine	2.1, 2.2	1-9	10-49	50-99	100-399	400-599	> 600	Geflügel	3.	1-49	50-99	100-999	1000-9999	10000-29999	> 30000	DE	4.	1-9	10-19	20-49	50-59	60-99	> 100
	Tierart	anwenden auf Gruppe No.:	Anzahl Tiere (1.1 – 3.) Anzahl Dungeinheiten (nur 4)																																																					
	Milchvieh	1.1	1-9	10-19	20-39	40-49	50-59	> 60																																																
	Rinder	1.2	1-9	10-19	20-49	50-59	60-99	> 100																																																
	Schweine	2.1, 2.2	1-9	10-49	50-99	100-399	400-599	> 600																																																
Geflügel	3.	1-49	50-99	100-999	1000-9999	10000-29999	> 30000																																																	
DE	4.	1-9	10-19	20-49	50-59	60-99	> 100																																																	

**Tabelle A1: Literatúrauswertung Emissionsfaktoren Rinder**

<b>Tierart</b>	<b>Haltungs- verfahren</b>	<b>Literaturstelle</b>	<b>E-Faktoren kg NH<sub>3</sub>-N/ Tierplatz und Jahr</b>	<b>Messungen - ganztjährig - Punktmes- sungen, PM</b>	<b>Luftwech- sel- messung</b> ja/nein	<b>Methode der NH<sub>3</sub>-Detektion</b>	<b>Als E-Faktor nutzbar</b> ja/bedingt/nein
Milchvieh	<b>1 Geschlossene Ställe</b>						
	1.1 Boxen- laufstall	flüssig	Jungbluth et al., 1999	2,16-6,55	ganztjährig	ja	ja
			Swierstra, 1991 aus Ooesthoeck et al. 1990	10-15	Januar bis Juni, ab 19. Mai am Tag Weide	ja	Bedingt (Winterwer- te)
			Monteny und Kant, 1997	9-16	-	--	Bedingt (Über- sichtsbeitrag)
			Groot Koerkamp et al., 1998	7,2-15,1	ganztjährig	ja	ja
			Seipelt, 1999	20,7	PM	ja	bedingt
	1.2 Anbin- dung	fest	Seipelt, 1999	14,5	PM	ja	bedingt
			Monteny und Kant, 1997	9-12	-	--	Bedingt (Über- sichtsbeitrag)
		flüssig	Groenenstein und Monts- ma, 1991	3,2-5	?	ja	bedingt
			Amon et al., 1998	1,4-2,7	ganztjährig	ja	bedingt
		fest	Oldenburg, 1989	1,3-3,6	PM	ja	Bedingt
	1.3 Tiefstreu 1.4 Tret- mist		Groot Koerkamp et al., 1998	4	ganztjährig	ja	ja
			Pfeifer et al., 1994: zit in Monteny und Kant, 1997	9,7 (Fest oder flüssig??)	-	-	-
			Groenenstein und Reitsma, 1993	10,7	?	ja	Bedingt
			Amon et al., 1998	6,1	PM nur Sommer	ja	Bedingt
			Seipelt, 1999	30,8	PM	ja	Bedingt

2 Offene Ställe									
	2.1 Boxen- laufstall	flüssig							
		fest							
	2.2 Tiefstreu								
	2.3 Tretmist								
Tierart	Haltungsverfahren	Literaturstelle	E-Faktoren kg NH <sub>3</sub> -N/ Tierplatz und Jahr	Messungen - ganzjährig - Punktmes- sungen	Luftwechsel- messung ja/nein	Methode der NH <sub>3</sub> -Detektion	Als E-Faktor nutzbar ja/bedingt/nein		
Bullenmast	1.1 Anbindung	flüssig							
		fest	Groot Koerkamp et al., 1998	ganzjährig	ja	NO <sub>x</sub> -Wandler	ja		
	1.2 Vollspalten		Groot Koerkamp et al., 1998	ganzjährig	ja	NO <sub>x</sub> -Wandler	ja		
	1.3 Tretmist		Amon et al., 1998	PM	ja	FTIR	bedingt		
			1-3,2 (viel Stroh) 1,8-4,2 (wenig Stroh)						

Umrechnungsfaktoren von **NH<sub>3</sub> g/Großvieheinheit und Tag** in **NH<sub>3</sub>-N kg/Tierplatz und Jahr**

1,2 GV = 1 Milchkuh

0,7 GV = 1 Mastrind

NH<sub>3</sub> in NH<sub>3</sub>-N: x 0,82

### **Literaturstellen:**

1. Jungbluth et al., 1999: Vortragsmanuskript Stuttgart
2. Swierstra, 1991: FAL Sonderheft
3. Monteny und Kant, 1997: Internationales Symposium 10/1997, Vinkeloord, Niederlande
4. Groot Koerkamp et al., 1998: Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe, J. agric. Engng. Res (1998) 70, 79-95
5. Groenenstein und Montsma, 1991: Tying stall for dairy cattle. Report 91-1002, DLO, Wageningen
6. Amon et al., 1998: Untersuchungen der Ammonikemissionen in der Landwirtschaft Österreichs..., Boku, Forschungsbericht L 883/94
7. Groenenstein und Reitsma, 1993: Straw bed housing for dairy cows. Report 93-1005, DLO, Wageningen
8. Seipelt, 1999: Quantifizierung und Bewertung gasförmiger Emissionen aus frei gelüfteten Milchviehställen mit Trauf-First- Lüftung, VDI-MEGSchrit 336

**Tabelle A2: Literatúrauswertung Emissionsfaktoren Schweine**

<b>Tierart</b>	<b>Haltungsverfahren</b>	<b>Literaturstelle</b>	<b>E-Faktoren kg NH<sub>3</sub>-N/ Tierplatz und Jahr</b>	<b>Messungen - Ganzjährig - Punktmessungen</b>	<b>Luftwechsel- messung</b> ja/nein	<b>Methode der NH<sub>3</sub> -Detektion</b>	<b>Als E-Faktor nutzbar</b> ja/bedingt/nein
Mast- schweine	<b>Geschlossene, wärmegeklärte Ställe</b>						
	Flüssig- mist	Vollspalten	Oldenburg, 1989	PM	ja	Dräger-Röhrchen	Bedingt
			Stegbauer et al. 1999	PM (Okt., 35-53 kg LM)	ja	IR	Bedingt
		Teilspalten	Thelosen et al., 1993	ganzjährig	ja	IR	Ja
			Groot Koerkamp et al., 1998	ganzjährig	ja	NO <sub>x</sub> -Wandler	Ja
			Cielejewski und Rat-schow, 1997	ganzjährig	ja	Dräger-Sensoren	bedingt
			Büscher, 1996				
		Teilspalten	Oldenburg, 1989	PM	ja	Dräger-Röhrchen	Bedingt
			Cielejewski und Rat-schow, 1997	ganzjährig	ja	Dräger-Sensoren	bedingt
			Oosthoek et al., 1990				
			Aarnink et al., 1994	?	?	?	?
			Büscher, 1996				
	Einstreu	Tiefstreu 2-Flächen incl. Däni-sche Aufstäl-lung	Groot Koerkamp und Uenk, 1997	PM (3/4 der Mast)	ja	NO <sub>x</sub> -Wandler	Ja
			Hesse, 1992	Ganzjährig	ja	Indophenol	Ja
			Oldenburg, 1989	PM	ja	Dräger-Röhrchen	Bedingt
			NN, 1989				Bedingt



Mast- schweine	<b>Außenklima Ställe</b>						
	Flüssigmist	Kistenstall	Stegbauer et al. 1999	1,7 (0-6,5)	PM (Okt., 35-53 kg LM)	ja	IR
	Einstreu	Kistenstall	Stegbauer et al. 1999	1,6 (0-6,0)	PM (Okt., 35-53 kg LM)	ja	IR
		Tiefstreu					
		2-Flächen incl. Däni- sche Aufstal- lung					

<b>Tierart</b>	<b>Haltungsverfahren</b>	<b>Literaturstelle</b>	<b>E-Faktoren kg NH<sub>3</sub> -N/ Tierplatz und Jahr</b>	<b>Messungen - Ganzjährig - Punkt- messungen (PM)</b>	<b>Luftwechsel- messung ja/nein</b>	<b>Methode der NH<sub>3</sub> -Detektion</b>	<b>Als E-Faktor nutzbar ja/bedingt/nein</b>
Zucht- sau- en incl. Fer- kel bis 20 kg	Alle Bereiche	Ohne Ein- streu	Groot Koerkamp et al., 1998	2,9 (2,3-5,3)	ja	NO <sub>x</sub> -Wandler	Ja
			Bonazzi et al., 1997	5,6 (2,3-8,7)	ja	?	Ja
		Mit Einstreu	Groot Koerkamp et al., 1998	2,2-9,4	ja	NO <sub>x</sub> -Wandler	Ja
Zucht- sau- en	Wartestall	k.A.	Oldenburg, 1989	PM	ja	Dräger-Röhrchen	Bedingt
			Müller, 1994	?	ja	IR	?

### Umrechnungsfaktoren von **NH<sub>3</sub> g/Großvieheinheit und Tag** in **NH<sub>3</sub>-N kg/Tierplatz und Jahr**

Mastdurchgänge pro Jahr = 3 => Mastschweine pro Tierplatz und Jahr = 3  
 durchschnittliche Zunahme = 700 g je Tier und Tag  
 1 Mastschwein = 0,13 GV (=mittlere Lebendmasse = 65 kg)

## Literaturstellen:

9. Groot Koerkamp et al., 1998: Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe, J. agric. Engng. Res (1998) 70, 79-95
10. Stegbauer et al. 1999: Vergleich der Emissionen Klima- und umweltrelevanter Gase aus verschiedenen Mastschweinesystemen... In: Bau. Technik und Umwelt, 1999, Weihenstephan
11. Oldenburg, 1989: Geruchs- und Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung, KTBL-Schrift 333
12. Thelosen et al., 1993: Nitrogen balances of two deep litter systems for finishing pigs. Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production, 6/93, Wageningen
13. Cielejewski und Ratschow, 1997: Emissionen verschiedener Verfahren der Mastschweinehaltung, Landtechnik 52/3
14. Büscher, 1996: Technische Maßnahmen zur Emissionsminderung aus der Tierhaltung. Landwirtschaftliche Hochschultagung Hohenheim, 4/96
15. Oosthoek et al., 1990: Ammoniak in der Umwelt, KTBL-VDI, 1990
16. Aarnink et al., 1994: Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behavior of growing pigs. J. agric. Engng. Res. 64, S. 299-310
17. Hesse, D., 1992: Vergleich von drei Haltungungsverfahren für Mastschweine auf Stroheinstreu, KTBL AP 183
18. Groot Koerkamp und Uenk, 1997: Climatic conditions and aerial pollutants and emissions from commercial animal production systems in the Netherlands, Internationales Symposium 10/1997, Vinkeloord, Niederlande
19. Bonazzi et al., 1997: Ammonia emissions in farrowing-weaning houses with frequent slurry removal system. Internationales Symposium 10/1997, Vinkeloord, Niederlande
20. NN, Arbeitsmaterialien des Bundesamtes für Ernährung und Forstwirtschaft: Emissionen von Ammoniak. Frankfurt/Main, 1989
21. Müller, H.-J. (1994): Geruchs- und Schadgasemissionsströme aus Tierhaltungen. Landtechnik, 6, 360-361

**Tabelle A2a: Literatúrauswertung Emissionsfaktoren Schweine - Stall, Lagerung, Ausbringung  
(ohne Zuordnung zu bestimmten Haltungsverfahren)**

<b>Tierkategorie</b>	<b>E-Faktoren</b>	<b>Literaturquelle und Anmerkungen</b>
<b>Stall, Lagerung, Ausbringung</b>		
<b>Schweine</b>	5,36 kg NH <sub>3</sub> / (Tier und Jahr)	UBA 2000 (Zahlen für die Berichtspflicht), Haltung, Lagerung, Ausbringung
<b>ohne Differenzierung</b>	4,3 kg NH <sub>3</sub> /(Tier und Jahr)	Asman 1990
	4,33 kg NH <sub>3</sub> / (Tier und Jahr)	RAINS-Modell (Neue Bundesländer), Haltung, Lagerung, Ausbringung
	5,39 kg NH <sub>3</sub> / (Tier und Jahr)	RAINS Modell (Alte Bundesländer), Haltung, Lagerung, Ausbringung
<b>Mastschweine</b>	36 kg NH <sub>3</sub> / (GV und Jahr)	Isermann 1990 Gesamt (Stall bis Ausbringung)
<b>nur Stall</b>		
<b>Sauen</b>	4,7 kg NH <sub>3</sub> /(Tier und Jahr)	Groot Koerkamp und Uenk 1997
	4,2 kg NH <sub>3</sub> /(Tierplatz und Jahr)	Richtwert Niederländische Ammoniakrichtlinie
	8,1 kg NH <sub>3</sub> /(Sauenplatz und Jahr)	Van den Weghe 1993
	5,7-8,3 kg NH <sub>3</sub> / (GV und Jahr)	Krause und Janssen 1989
	3,180 kg NH <sub>3</sub> /(Tier und Jahr)	Van der Most and Veldt, 1992
	3,0-4,6 kg head-1 yr-1 NH <sub>3</sub> -N	Keck et al. (1995) Slurry systems
<b>Sauen + Ferkel</b>	8,1 kg NH <sub>3</sub> /(Tierplatz und Jahr)	Büscher 1996
	8,3 kg NH <sub>3</sub> /(Tierplatz und Jahr)	Richtwert Niederländische Ammoniakrichtlinie
	4,2 kg NH <sub>3</sub> /(Tier und Jahr)	Bonazzi et al. 1997
	6,8 kg NH <sub>3</sub> /(Tier und Jahr)	Bonazzi et al. 1997

<b>Ferkel</b>	0,6-0,75 kg NH <sub>3</sub> /(Tierplatz und Jahr)	Richtwert Niederländische Ammoniakrichtlinie (Ferkel bis 25 kg)
	0,2 kg NH <sub>3</sub> /(Tierplatz und Jahr)	Groot Koerkamp und Uenk 1997
	0,14-0,56 kg NH <sub>3</sub> /(Tierplatz und Jahr)	Bonazzi et al. 1997
	0,3-0,34 kg NH <sub>3</sub> /(Tierplatz und Jahr)	Aarnink et al. 1996      Teilspalten
	3,180 kg NH <sub>3</sub> /(Tier und Jahr)	Van der Most and Veldt, 1992
<b>Eber (&gt; 7 Monate)</b>	5,5 kg NH <sub>3</sub> /(Tierplatz und Jahr)	Richtwert Niederländische Ammoniakrichtlinie
	5,5 kg NH <sub>3</sub> /(Tierplatz und Jahr)	Büscher 1996
	3,180 kg NH <sub>3</sub> /(Tier und Jahr)	Van der Most and Veldt, 1992
<b>Mastschweine (&gt; 25 kg)</b>	2,5-3,5 kg NH <sub>3</sub> / (Tier und Jahr)	Richtwerte Niederländische Ammoniakrichtlinie
	12,1 kg NH <sub>3</sub> -N/(GV a)	Isermann 1990
	3 kg NH <sub>3</sub> / (Mastplatz und Jahr)	Van den Weghe 1993
	3,4 kg NH <sub>3</sub> / (Tier und Jahr)	Groot Koerkamp und Uenk 1997
	2,1 kg NH <sub>3</sub> -N/(TP und a)	ATB, 2000      Vollspalten
	2,7 - 6,5 kg head-1 yr-1 NH <sub>3</sub> -N	Heinrichs, P. (1994);      Slurry systems Hesse et al. (1997);Cielejewski and Ratschow (1997); Hoy et al. (1996)
<b>Jungsauen (&gt; 25 kg)</b>	2,5-3,5 kg NH <sub>3</sub> / (Tier und Jahr)	Richtwerte Niederländische Ammoniakrichtlinie
	2,5 kg NH <sub>3</sub> / (Tier und Jahr)	Büscher 1996      Vollspalten
	2,1-2,5 kg NH <sub>3</sub> / (Tier und Jahr)	Büscher 1996      Teilspalten
	2,420 kg NH <sub>3</sub> /(Tier und Jahr)	Van der Most and Veldt, 1992

**Tabelle A3: Literaturswertung Emissionsfaktoren Mastgeflügel**

Haltungsverfahren	UN-ECE	Hörnig u. Brunsch (2000)	NL-Richtlinie	Müller, Krause, Eckhof (1997)*
	kg NH <sub>3</sub> /Tierplatz u. Jahr	kg NH <sub>3</sub> /Tierplatz u. Jahr	kg NH <sub>3</sub> /Tierplatz u. Jahr	g NH <sub>3</sub> /h x GV
Broiler				
Einstreu	0,050	-		
Sägespäne		0,05 – 0,07		
Stroh				
Zwischenboden mit Trocknung d.	0,005	0,03 – 0,04		
Kotes				
biopolym in Trinkwasser				
Enten			0,117	
Gülle				3 – 12
Einstreu				7 – 40
Puten			0,68	
Einstreu				4 – 7

\* abgeschätzt aus Diagramm, keine Langzeitmessungen

**Tabelle A4: Literaturswertung Emissionsfaktoren Legehennen (in Ergänzung zur Übersicht von Menniken)**

Haltungsverfahren	Groot, Koerkamp <sup>1)</sup>	umgerechnet und gerundet	NL-Richtlinie	UN-ECE <sup>2)</sup>
		kg NH <sub>3</sub> /Tierplatz u. Jahr		
Volierenhaltung, mit Kottrocknung Tiered Wire Floor Natura Boleg	g/Tier x h  2,3 – 22,9 5,6 – 17,4 2,2 – 25,8	0,020 - 0,200	kg NH <sub>3</sub> /Tierplatz u. Jahr	kg NH <sub>3</sub> /Tierplatz u. Jahr
		0,049 - 0,152		
		0,020 - 0,226		
Käfighaltung mit Kottrocknung	18,8 (9 – 74) (entspr. 1,8 % der aufgenommenen Stickstoffmenge)	0,165 (0,08 – 0,65)	0,01 – 0,035	
einfaches Kotband	-	-	0,02	
Bodenhaltung				
Kotbunkerentmischung 1x /Durchgang	-	-	0,315	
Käfighaltung mit Kotbunker mit Kotband <u>ohne</u> Trocknung mit Kotband und Trocknung				0,386 0,150 0,085
Freilandhaltung und Bodenhaltung				0,315

<sup>1)</sup> P. W. G. Groot Koerkamp (1998), Dissertation, Wageningen

<sup>2)</sup> EB.AIR, (1999) 2, Part IV Guidance document on control techniques for preventing and abating emissions of ammonia, table 13

**Tabelle A5. Literaturübersicht zu Ammoniakstickstoffemissionen in der Legehennenhaltung (erweitert nach Flügge, 1994), Mennicken (2000)**

Haltungssystem/ Entmistungssystem	NH <sub>3</sub> -N Emission in g /Henne und Jahr	Quelle
<b>Käfighaltung</b>		
a) Gülleverfahren	103 68	Kowalewsky, 1981 Oosthoek et al., 1990
b) einfache feuchte Kotlagerung	69 (Winter) 222 (Sommer) 82-164	Chiumenti et al., 1992  Kroodsma et al, 1988; zit. bei: Groot Koerkamp et al., 1998
Modellstall	90	Flügge, 1994
c) Kotbelüftung Kotkellerstall	64	Valli, 1992 <sup>2</sup>
Kotband mit Belüftung <sup>1</sup>	11 (Winter) 62 (Sommer) 28	Chiumenti et al., 1992  Kroodsma et al., 1988; zit bei: Groot Koerkamp et al., 1998
Modellstall <sup>1</sup> + Lagerung (Kompostierung)	30 + 8 (70 % TS) bis + 196 (46 % TS)	Flügge, 1994
Kotbandentmistung 2x täglich, Kotnachtrocknung	8 ≥ 60 % TS in 50 h	Demmers et al., 1992, zit. bei: Groot Koerkamp et al, 1998
d) versch. Ställe/ Entmistungssys- tem England Niederlande; Dänemark Deutschland	17-44 273 44,53 15	Oldenburg, 1989 Groot Koerkamp et al, 1998 veränd.
<b>Voliärenhaltung</b>		
verschiedene Ställe	189 (Winter) 259 (Sommer) 86	Wathes et al., 1997  Groot Koerkamp et al., 1995; zit. bei: Groot Koerkamp et al., 1998, veränd.
(Boden-/Volierenhaltung) England; Niederlande, Dänemark	214, 249; 265	Groot Koerkamp et al, 1998, veränd.
<b>Bodenhaltung</b>		
verschiedene Ställe	165-186 260	Oldenburg, 1989 Hol und Groensteen, 1996 zit. bei: Groot Koerkamp et al, 1998, veränd.
ohne Kotkasten	288	Oehm und Petersen, 1999
mit Kotkasten	288	Mennicken, unveröffentl.
mit 2/3 Kotkasten und Kotband- belüftung <sup>1</sup> , 1/3 Scharrraum „Bio- bettverfahren“	113	Mennicken, unveröffentl.
ohne Kotkasten „Biobett- verfahren“	86	Oehm und Petersen, 1999
ohne Kotkasten „Biobett- verfahren“ (Modellstall)	< 30; jedoch sehr hohe N <sub>2</sub> O-Emission	Mennicken, unveröffentl.

<sup>1</sup> Kotbandentmistung einmal wöchentlich; <sup>2</sup> zitiert bei Flügge 1994

**Tabelle A6: Ausscheidungen in kg N pro Stallplatz und Jahr (Referenz, ohne N-reduzierte Fütterung)**

Tierart		Quelle	kg N/Tierplatz und Jahr	a	b	korr	
<b>Milchkühe</b>				45	0,0095		a+b*Milchleistung in kg
	Korrekturfaktor (kg N * korr)	LWK-WE 1997				1,12745098	über 75% Gras und Graskonserven an der Grundfutter-TM
						(1+0,12745098 *(X-35)/40)	35-75% Gras und Graskonserven an der Grundfutter-TM
						1	unter 35% Gras und Graskonserven an der Grundfutter-TM
<b>Mutterkühe</b>							
<b>Weibliche Mastrinder</b>		MusterVVo 1996	96				
	0,6-über 2 Jahre	MusterVVo 1996	44				
<b>Männliche Mastrinder</b>		MusterVVo 1996	42				
<b>Kälber</b>	Unter 0,6 Jahre	MusterVVo 1996	16				
<b>Pferde</b>		RAUMIS, ab- gest. mit BML	64				
<b>Schafe</b>		RAUMIS, ab- gest. mit BML	13				
<b>Mastschweine</b>		MusterVVo 1996	13				
<b>Sauen</b>	Incl. Ferkel	MusterVVo 1996	36				
<b>Legehennen</b>		MusterVVo 1996	0,74				
<b>Junghennen</b>		MusterVVo 1966	0,28				
<b>Masthähnchen</b>		MusterVVo 1966	0,29				
<b>Truthühner</b>		MusterVVo 1966	1,64				

**Quellen: Landwirtschaftskammer Weser-Ems 1997,  
Muster-Verwaltungsvorschrift für den Vollzug der Ver-  
ordnung 1996**



**Tabelle A7: Großvieheinheiten-Schlüssel (aus KTBL-Taschenbuch 2000/2001)**

Viehart	GV <sup>1)</sup>
<b>Rinder</b>	
Kühe und Rinder über 2 Jahre	1,2
Rinder 1-2 Jahre (Mast)	0,7
Weibliches Jungvieh 1-2 Jahre	0,6
Jungvieh und Kälberaufzucht unter 1 Jahr	0,3
Mastkälber	0,3
<b>Schafe</b>	
Schafe über 1 Jahr	0,1
Schafe unter 1 Jahr	0,05
Bock	0,2
<b>Schweine</b>	
Niedertragende und leere Sauen, Eber	0,3
Sauen mit Ferkeln bis 10 kg	0,4
Sauen mit Ferkeln bis 20 kg	0,5
Ferkelaufzucht (7 bis 35 kg, Durchschnitt 17 kg)	0,03
Jungsauen (30 bis 90 kg, Durchschnitt 60 kg)	0,12
Mastschweine (20 bis 105 kg, Durchschnitt 65 kg)	0,13
Mastschweine (25 bis 115 kg, Durchschnitt 70 kg)	0,14
Mastschweine (35 bis 120 kg, Durchschnitt 80 kg)	0,16
<b>Pferde</b>	
Fohlen unter 6 Monate und Ponys	0,5
Pferde 6 Monate - 1 Jahr	0,7
Pferde über 1 Jahr	1,0
<b>Geflügel</b>	
Legehennen braun (Durchschnitt 2 kg)	0,004
Legehennen weiß (Durchschnitt 1,7 kg)	0,0034
Junghennen braun oder weiß (Durchschnitt 1,1 kg)	0,0022
Masthähnchen Kurzmast 25 Tage (Durchschnitt 0,41 kg)	0,0008
Masthähnchen Langmast 36 Tage (Durchschnitt 0,7 kg)	0,0014
Pekingenten (Durchschnitt 1,1 kg)	0,0022
Flugenten (Durchschnitt 1,9 kg)	0,0038
Jungenten (Durchschnitt 0,65 kg)	0,0013
Putenhennen (Durchschnitt 3,9 kg)	0,0079
Putenhähne (Durchschnitt 8,2 kg)	0,0164
Putenaufzucht (Durchschnitt 1,1 kg)	0,0022

<sup>1)</sup> 1 GV entspricht 500 kg Lebendgewicht.

**Tabelle A8: Ammonium-N am Gesamt-N**

<b>NH<sub>3</sub>-Anteil in den Ausscheidungen (in % vom Gesamt-N)</b>	<b>% NH<sub>3</sub></b>
Rinder	50
Schafe	40
Pferde	40
Schweine	66
Geflügel	66
Jauche	90
	%
Umsetzung von org. gebundenem N in NH <sub>3</sub> -N (TAN) während Lager (inclusive N aus Stroh)	10
N-Gehalt Stroh	0,5

Quelle: Döhler, KTBL

**Tabelle A9: NH<sub>4</sub>-N- und organisches N in Festmist und Jauche (%), Rinder und Schweine**

<b>Verfahren</b>	<b>Festmist</b>		<b>Jauche</b>	
	<b>NH<sub>4</sub>-N %</b>	<b>Org. N %</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N %</b>	<b>Org. N %</b>
<b>Rinder</b>				
Anbindestall	10	90	90	10
Boxenlaufstall	10	90	90	10
Tretmist	20	80	90	10
Tiefstreu	20	80	Fällt nicht an	
<b>Schweine</b>				
2-Flächenbucht	10	90	90	10
Tiefstreu	20	80	Fällt nicht an	

Quelle: Döhler, KTBL

**Tabelle A10: Literatúrauswertung mittlere NH<sub>3</sub>-Minderung (%) verschiedener Güllelagerungsarten im Vergleich zu nicht abgedeckten Behältern**

<b>Behälter mit Abdeckung</b>	<b>Literaturquelle</b>	<b>% Minderung gegenüber nicht abgedeckt</b>
• Feste Abdeckung	Koch 1998	90-95
• Natürliche Schwimmdecke	Koch 1998	30-40
	De Bode, 1990	35 (RG)
• Künstliche Schwimmdecke	Koch 1998	65-85
	Wanka, Hörnig, Fleischer, 1998	79,9
Strohhäcksel	Kowalewsky und Föbbeker, 1998	70-87 (SG) 78 (RG)
	De Bode, 1990	62-71
	Hüther und Schuchardt	83
Granulat	Koch 1998	75-85
Perlite	Wanka, Hörnig, Fleischer, 1998	62,9-91,0
Blähton	Hüther und Schuchardt, 1998	72
• Schwimmfolie	Koch 1998	85-90
	Wanka, Hörnig, Fleischer, 1998	99,7
	De Bode, 1990	72-94
	Hüther und Schuchardt, 1998	85
• Zelt	Koch 1998	90-95
	Wanka, Hörnig, Fleischer, 1998	99,4
	De Bode, 1990	71-94

<sup>1</sup> Koch 1998 BauBriefe: Landwirtschaft 38, Rindergülle

<sup>2</sup> Wanka, Hörnig, Fleischer, 1998: Landtechnik 1/98, Schweinegülle

<sup>3</sup> Kowalewsky und Föbbeker, 1998 KTBL AP 250 Rinder- und Schweingülle

<sup>4</sup> De Bode, 1990 KTBL Schrift Ammoniak in der Umwelt, Rindergülle

<sup>5</sup> Hüther und Schuchardt, 1998 KTBL AP 250, Rindergülle

**Tabelle A11: Literaturübersicht N-angepasste Fütterung von Mastschweinen und Zuchtsauen, Reduktion der N-Ausscheidung (%)**

"2-ph." bis "4-ph.": Zwei- bis Vierphasenfütterung, restl. Varianten: Einphasenfütterung.

<b>Autoren Mastschweine</b>	<b>Behandlung</b>	<b>Bezugs- basis</b>	<b>Reduktion der N-Aus- scheidung [%]</b>	<b>Mehr- kosten<sup>1</sup> (DM Tier<sup>-1</sup>)</b>
Deimel & Kloth, 1995	2-ph.: 18/17 % RP + Lys	18 % RP	11	
ebd.	3-ph.: 19/17/16 % RP + Lys	18 % RP	20	-1,70
Easter et al., 1993	12 % RP + Lys, Trp, Thr	16 % RP	37	
Henry & Dourmad, 1993	2-ph.: 17 /15 % RP	17 % RP	10	
Heinrichs & de Baey- Ernsten, 1995	2-ph.: 17/13,5 % RP + Lys, Thr	17 % RP	23	
Hopp et al., 1990	2-ph.: 15 /11,4 % RP jew. + Lys, Met, Thr	17,8 % RP	ca. 30 %	
Latimier & Dourmad, 1993	2-ph.: 17,5 /15 % RP jew. + Lys, Met, Thr	17,5 % RP + Met	9	
ebd.	2-ph.: 16/13 % RP jew. + Lys, Met, Thr		22	
Lindermayer & Probst- meier, 1995	4-ph.: 20,1/19,5/18,6/18,5 % RP	20,1 % RP	5	-0,60
ebd.	18,1 % RP + Lys, Met	20,1 % RP	16	0,23
Pricker, 1994	Vermeidung von Luxuskon- sum u. Verbesserung der Futtermittelverwertung	o.A.	ca. 20 %	
Ratschow, 1994	3-ph.	Universal- mast	18	
ebd.	3-ph. + Aminosäuren	Universalm ast	30	
ri/Landw. Wochenblatt, 1992	2-ph.: 18,5/16 % RP	18,5 % RP	10	-1,60
ebd.	2-ph.: 17/14,5 % RP jew. + Lys	18,5 % RP	21	0
ebd.	2-ph.: 15,5/13 % RP jew. + Lys, Met, Thr	18,5 % RP	32	+3,60
Roth & Kirchgessner, 1993	2-ph.: 17/14 % RP (mit 5 % Lys im RP)	16 % RP	7	
ebd.	4-ph.: 18/16/14/12 % RP (5 % Lysin im RP)	16 % RP	12	
Spiekers & Pfeffer, 1990	2-ph.: 19,7/18,2 % RP	19,7 % RP	9	
ebd.	3-ph.: 19,7/18,2/16,4 % RP	19,7 % RP	13	
ebd.	3-ph.: 16,1/14,2/11,8 % RP, jew. + Lys, Met, Thr, Trp	19,7 % RP	41	

---

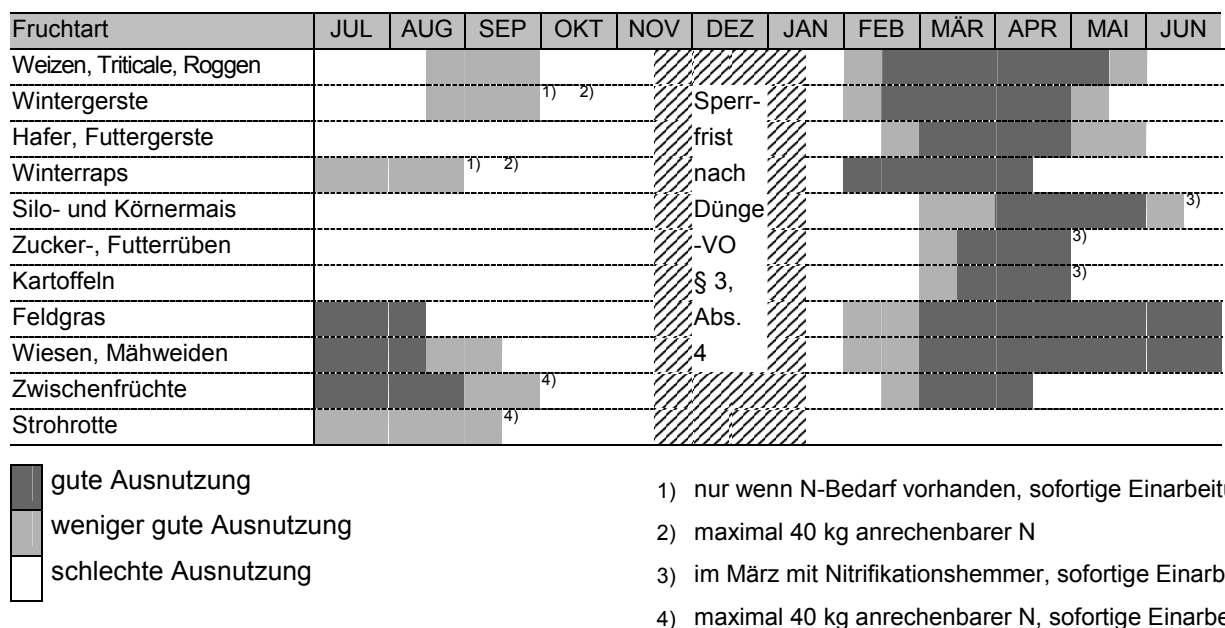
**Zuchtsauen**

---

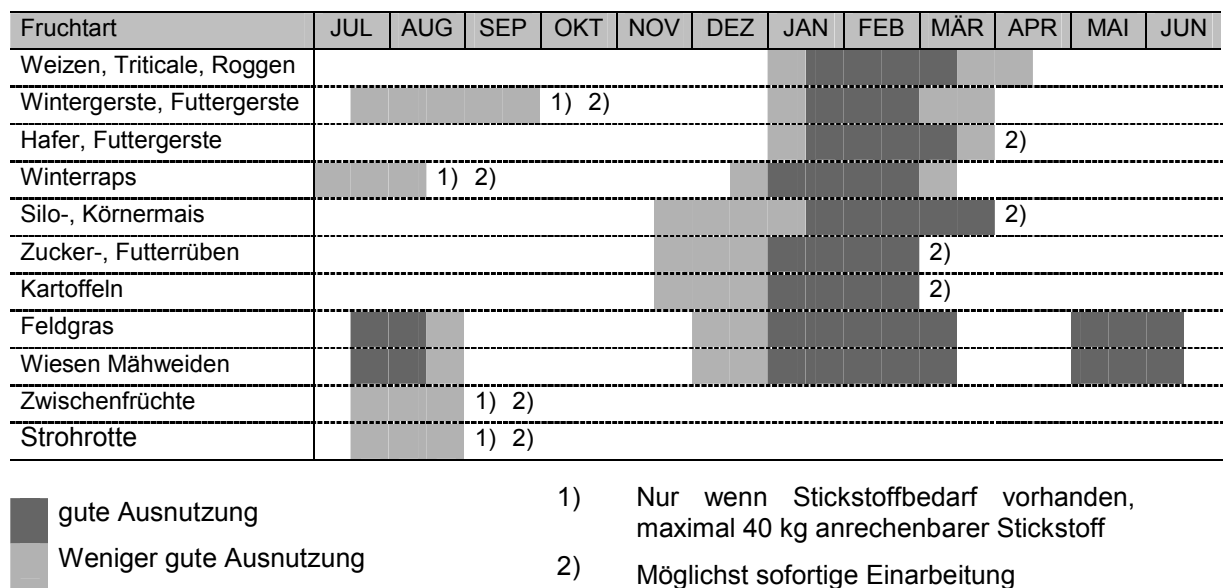
Henry & Dourmad, 1994	17/12 % RP während Laktation bzw. Trächtigkeit	17 % RP	34
Rodehutscord, 1994	14 % RP + Lys, Met, Thr	17 % RP	15
Roth & Kirchgessner, 1993	16/12 % RP während Lakt. bzw. Trächt.	16 % RP	12

---

<sup>1</sup> Negative Mehrkosten: Angepasste Fütterung ist billiger als konventionelle.



**Abb. A1: Ausbringzeiträume für flüssige Wirtschaftsdünger (Quelle: KTBL, 2000)**



**Abb. A2: Ausbringzeiträume für feste Wirtschaftsdünger (Quelle: KTBL, 2000)**

Übersicht A2: DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE

Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)							Berlin
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen							
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J	Jungrinder tr. Färsen	Mastrinder	Zuchtbullen		
Anbindehaltung	58,5	0,0	60,9	70,2	0,0		
	41,5	100,0	39,1	29,8	0,0		
ohne Einstreu mit Einstreu	63,6	47,5	0,0	9,9	0,0		
	36,4	52,5	100,0	90,1	0,0		
Schweine	Säugende Sauen	Güste/tragende Sauen	Jungschw. b. Bes.	Läufer 35 kg	Mastschweine	Zuchteber	
Gruppenbuchten	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Anbindehaltung							
ohne Einstreu mit Einstreu	0,0	0,0	0,0	0,0	78,3	0,0	
	0,0	0,0	0,0	0,0	21,7	0,0	
Geflügel	Elterntier Legerichtung	Junghennen-aufzucht	Legehennen	Elterntier Broiler	Broilermast	Putenproduktion	
Bodenhaltung	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Käfighaltung							
Freilandhaltung							
Quelle: ATB							

Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)							Cottbus
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen Rinder							
	Kühe	Kälber bis 1/2 J	Jungrinder tr. Färsen	Mastrinder	Zuchtbullen		
Anbindehaltung	76,5	15,4	42,8	69,0	100,0		
Laufstallhaltung	23,5	84,1	57,2	31,0	0,0		
ohne Einstreu	31,4	30,5	41,6	31,9	0,0		
mit Einstreu	68,6	69,5	58,4	68,1	100,0		
Schweine							
	Säugende Sauen	Güste/tragende Sauen	Jungschw. b. Bes.	Läufer 35 kg	Mastschweine	Zuchteber	
Gruppenbuchten	25,1	26,7	96,2	100,0	99,8	38,3	
Einzel/Anbindehaltung	74,9	73,3	3,8	0,0	0,2	61,7	
ohne Einstreu	30,4	57,6	55,7	53,5	64,5	33,5	
mit Einstreu	69,6	42,4	44,3	46,5	35,5	66,5	
Geflügel							
	Elterntier Legerichtung	Junghennen aufzucht	Legehennen	Elterntier Broiler	Broilermast	Putenproduktion	Gänseproduktion
Bodenhaltung	100,0	100,0	13,4	100,0	100,0	100,0	100,0
Käfighaltung	0,0	0,0	86,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Freilandhaltung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)							Dresden
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen Rinder							
	Kühe	Kälber bis 1/2 J	Jungrinder tr. Färsen	Mastrinder	Zuchtbullen		
Anbindehaltung	74,1	47,7	53,8	66,9	85,2		
Laufstallhaltung	25,9	52,3	46,2	33,1	14,8		
ohne Einstreu	30,4	30,2	35,4	37,2	0,0		
mit Einstreu	69,6	69,8	64,6	62,8	100,0		
Schweine	Säugende Sauen	Güste/tragende Sauen	Jungschw. b. Bes.	Läufer 35 kg	Mastschweine Zuchteber		
Gruppenbuchten Einzel/Anbindehaltung	22,8 77,2	25,4 74,6	90,0 10,0	99,9 0,1	99,9 0,1	50,4 49,6	
ohne Einstreu mit Einstreu	19,1 80,9	54,6 45,4	38,0 62,0	49,7 50,3	78,2 21,8	11,8 88,2	
Geflügel	Elterntier Legerichtung	Junghennen- aufzucht	Legehennen	Elterntier Broiler	Broilermast	Puten- produktion	Gänse- produktion
Bodenhaltung	100,0	98,5	28,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Käfighaltung	0,0	0,0	72,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Freilandhaltung	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)										Erfurt
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen										
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J	Jungrinder tr. Färsen	Mastrinder	Zuchtbullen					
Anbindehaltung	72,7	33,7	52,6	51,9	60,6					
Laufstallhaltung	27,3	66,3	47,4	48,1	39,4					
ohne Einstreu mit Einstreu	28,9 71,1	33,1 66,9	41,8 58,2	34,5 65,5	66,7 33,3					
Schweine	Säugende	Güste/tragende	Jungschw.	Läufer	Mast- schweine	Zuchteber				
	Sauen	Sauen	b. Bes.	35 kg						
Gruppenbuchten	17,5	25,0	100,0	100,0	100,0	100,0				
Einzel/ Anbindehaltung	82,5	75,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
ohne Einstreu mit Einstreu	24,3 75,7	67,2 32,8	74,7 25,3	59,0 41,0	79,2 20,8	73,4 26,6				
Geflügel	Elterntier Legerichtung	Junghennen- aufzucht	Legehennen	Elterntier Broiler	Broilermast	Puten- produktion	Enten- produktion	Gänse- produktion		
Bodenhaltung	0,0	94,4	0,9	98,6	100,0	100,0	33,3	99,8		
Käfighaltung	0,0	5,6	99,1	1,4	0,0	0,0	0,0	0,2		
Freilandhaltung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	0,0		

Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)							Frankfurt/Oder
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen							
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J	Jungrinder tr. Färsen	Mastrinder	Zuchtbullen		
Anbindehaltung	74,7	38,9	51,4	76,4	55,6		
Laufstallhaltung	25,3	61,1	48,6	23,6	44,4		
ohne Einstreu	27,3	33,2	35,6	12,1	0,0		
mit Einstreu	72,7	66,8	64,4	87,9	100,0		
Schweine	Säugende	Güste/tragende	Jungschw.	Läufer	Mast-schweine	Zuchteber	
	Sauen	Sauen	b. Bes.	35 kg			
Gruppenbuchten	28,1	58,1	100,0	100,0	100,0	100,0	
Einzel/ Anbindehaltung	71,9	41,9	0,0	0,0	0,0	0,0	
ohne Einstreu	14,7	50,8	58,9	48,3	62,9	85,2	
mit Einstreu	85,3	49,2	41,1	51,7	37,1	14,8	
Geflügel	Elterntier Legerichtung	Junghennen-aufzucht	Legehennen	Elterntier Broiler	Broilermast	Putenproduktion	Gänseproduktion
Bodenhaltung	4,7	77,4	25,3	0,0	100,0	0,0	76,5
Käfighaltung	95,3	21,0	74,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Freilandhaltung	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	23,5

Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)										Gera
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen										
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J		Jungrinder	Mastrinder		Zuchtbullen			
				tr. Färsen						
Anbindehaltung	73,5	39,6	36,3		43,4	82,4				
Laufstallhaltung	26,5	60,4	63,7		56,6	17,6				
ohne Einstreu	39,6	45,1	55,9		47,3	0,0				
mit Einstreu	60,4	54,9	44,1		52,7	100,0				
Schweine	Säugende	Güste/tragende		Jungschw.	Läufer	Mast-		Zuchteber		
				b. Bes.	35 kg					
	Sauen	Sauen								
Gruppenbuchten	16,6	8,9	100,0		100,0	100,0		100,0		
Einzel/	83,4	91,1	0,0		0,0	0,0		0,0		
Anbindehaltung										
ohne Einstreu	48,6	84,4	92,5		84,6	86,5		37,8		
mit Einstreu	51,4	15,6	7,5		15,4	13,5		62,2		
Geflügel	Elterntier	Junghennen-		Legehennen-	Elterntier	Puten-		Enten-	Gänse-	
	Legerichtung		aufzucht		Broiler			produktion	produktion	
Bodenhaltung	100,0	100,0		8,4	100,0	100,0		95,7	90,8	0,0
Käfighaltung	0,0	0,0		91,6	0,0	0,0		4,3	0,0	0,0
Freilandhaltung	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0		0,0	9,2	0,0

Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)										Halle
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen										
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J		Jungrinder	Mastrinder		Zuchtbullen			
				tr. Färsen						
Anbindehaltung	81,4	30,5	51,8		66,8		78,9			
Laufstallhaltung	18,6	69,5	48,2		33,2		21,1			
ohne Einstreu	27,6	20,3	28,1		21,5		34,2			
mit Einstreu	72,4	79,7	71,9		78,5		65,8			
Schweine	Säugende	Güste/tragende		Jungschw.	Läufer	Mast-		Zuchteber		
				b. Bes.	35 kg					
	Sauen	Sauen								
Gruppenbuchten	31,9	41,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
Einzel/	68,1	58,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Anbindehaltung										
ohne Einstreu	14,9	45,6	47,8	44,7	69,4	28,2				
mit Einstreu	85,1	54,4	52,2	55,3	30,6	71,8				
Geflügel	Elterntier	Junghennen-		Legehennen-	Elterntier	Puten-		Enten-	Gänse-	
	Legerichtung	aufzucht		produktion	Broiler	produktion	produktion	produktion	produktion	
Bodenhaltung	100,0	100,0	22,5	100,0	99,5	95,2	89,0	71,7		
Käfighaltung	0,0	0,0	77,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0		
Freilandhaltung	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	4,8	11,0	28,3		

Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)										Karl-Marx-Stadt
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen										
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J		Jungrinder	Mastrinder		Zuchtbullen			
				tr. Färsen						
Anbindehaltung	63,0	44,2		36,5	72,5		94,6			
Laufstallhaltung	37,0	55,8		63,5	27,5		5,4			
ohne Einstreu	41,3	39,0		56,5	39,7		0,0			
mit Einstreu	58,7	61,0		43,5	60,3		100,0			
Schweine	Säugende	Güste/tragende		Jungschw.	Läufer	Mast-		Zuchteber		
	Sauen	Sauen	b. Bes.		35 kg					
Gruppenbuch-	24,5	26,3	100,0		100,0		100,0			
ten										
Einzel/	75,5	73,7	0,0		0,0		0,0			
Anbindehaltung										
ohne Einstreu	19,9	53,9	45,1		55,7		73,3		10,2	
mit Einstreu	80,1	46,1	54,9		44,3		26,7		89,8	
Geflügel	Elterntier	Junghennen-		Legehennen	Elterntier	Broilermast		Enten-		Gänse-
	Legerichtung	aufzucht			Broiler			produktion	produktion	produktion
Bodenhaltung	100,0	59,5	20,4		100,0		100,0		100,0	
Käfighaltung	0,0	40,5	79,6		0,0		0,0		0,0	
Freilandhaltung	0,0	0,0	0,0		0,0		0,0		0,0	

Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)										Leipzig
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen										
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J	Jungrinder tr. Färsen	Mastrinder		Zuchtbullen				
Anbindehaltung	72,8	39,0	38,6	38,6	100,0					
Laufstallhaltung	27,2	61,0	61,4	61,4	0,0					
ohne Einstreu	30,9	35,1	42,1	45,0	0,0					
mit Einstreu	69,1	64,9	57,9	55,0	100,0					
Schweine	Säugende Sauen	Güste/tragende Sauen	Jungschw. b. Bes.	Läufer 35 kg	Mastschweine	Zuchteber				
Gruppenbuchten	90,6	26,2	91,8	97,0	99,4	86,1				
Einzel/	9,4	73,8	8,2	3,0	0,6	13,9				
Anbindehaltung										
ohne Einstreu	24,0	57,6	60,8	41,1	72,0	45,0				
mit Einstreu	76,0	42,4	39,2	58,9	28,0	55,0				
Geflügel	Elterntier Legerichtung	Junghennen- aufzucht	Legehennen	Elterntier Broiler	Broilermast	Puten- produktion	Enten- produktion	Gänse- produktion		
Bodenhaltung	1,7	100,0	7,8	0,0	100,0	87,7	100,0	89,2		
Käfighaltung	98,3	0,0	92,2	100,0	0,0	12,3	0,0	0,3		
Freilandhaltung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5		

Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)										Magdeburg
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen										
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J	Jungrinder tr. Färsen	Mastrinder	Zuchtbullen					
Anbindehaltung	86,2	33,1	51,3	51,3	66,0					
Laufstallhaltung	13,8	66,9	48,7	48,7	34,0					
ohne Einstreu	27,3	21,8	27,2	41,2	46,5					
mit Einstreu	72,7	78,2	72,8	58,8	53,5					
Schweine	Säugende Sauen	Güste/tragende Sauen	Jungschw. b. Bes.	Läufer 35 kg	Mastschweine	Zuchteber				
Gruppenbuchten	21,9	47,8	100,0	100,0	100,0	100,0				
Einzel/	78,1	52,2	0,0	0,0	0,0	0,0				
Anbindehaltung										
ohne Einstreu	30,6	40,6	53,5	36,8	61,2	59,1				
mit Einstreu	69,4	59,4	46,5	63,2	38,8	40,9				
Geflügel	Elterntier Legerichtung	Junghennen- aufzucht	Legehennen	Elterntier Broiler	Broilermast	Puten- produktion	Enten- produktion	Gänse- produktion		
Bodenhaltung	0,6	98,9	13,2	100,0	99,9	93,7	100,0	89,3		
Käfighaltung	99,4	1,1	86,8	0,0	0,1	6,3	0,0	0,0		
Freilandhaltung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7		



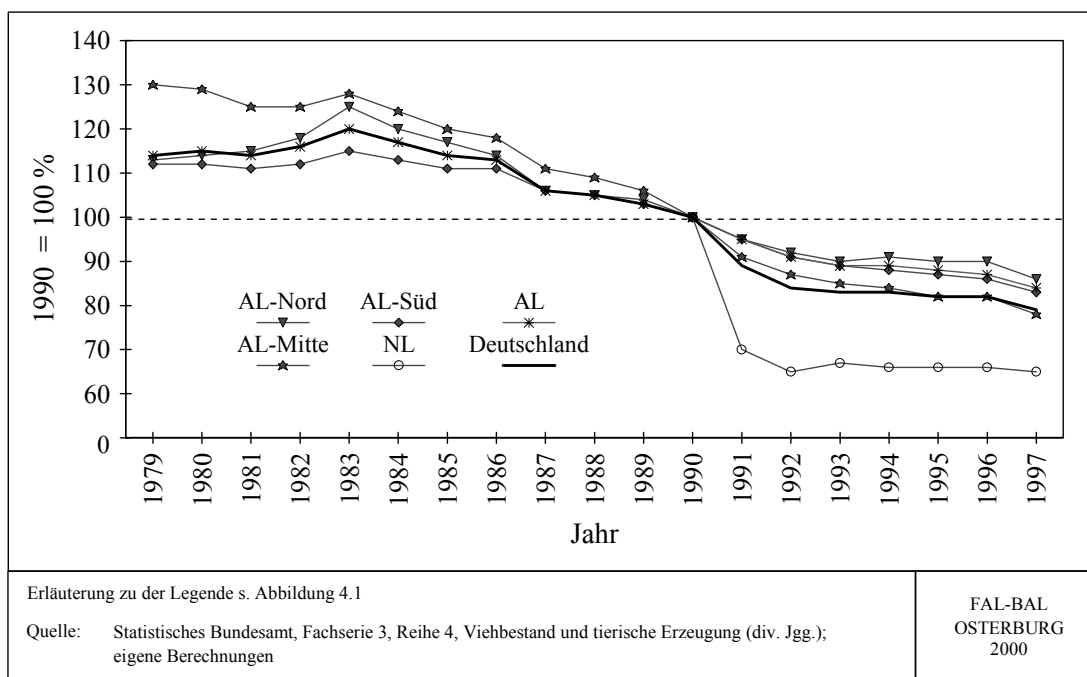
Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)							Neubrandenburg
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen							
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J	Junggrinder tr. Färsen	Mastrinder	Zuchtbullen		
Anbindehaltung	80,4	40,5	52,5	56,2	58,5		
Laufstallhaltung	19,6	59,5	47,5	43,8	41,5		
ohne Einstreu	23,6	32,6	29,8	37,4	0,0		
mit Einstreu	76,4	67,4	70,2	62,6	100,0		
Schweine	Säugende Sauen	Güste/tragende Sauen	Jungschw. b. Bes.	Läufer 35 kg	Mastschweine Zuchteber		
Gruppenbuchten	27,3	43,1	100,0	100,0	100,0		
Einzel/ Anbindehaltung	72,7	56,9	0,0	0,0	0,0		
ohne Einstreu	14,4	40,5	38,8	41,8	51,6	37,7	
mit Einstreu	85,6	59,5	61,2	58,2	48,4	62,3	
Geflügel	Elterntier Legerichtung	Junghennen- aufzucht	Legehennen	Elterntier Broiler	Broilermast	Puten- produktion	Enten- produktion
Bodenhaltung	100,0	16,8	2,1	0,0	96,6	100,0	61,1
Käfighaltung	0,0	83,2	97,6	0,0	3,4	0,0	0,0
Freilandhaltung	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	38,9

Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)										Potsdam
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen										
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J	Jungrinder tr. Färsen	Mastrinder	Zuchtbullen					
Anbindehaltung	87,2	52,5	51,7	72,3	66,7					
Laufstallhaltung	12,8	47,5	48,3	27,7	33,3					
ohne Einstreu	21,4	18,0	38,5	21,1	0,0					
mit Einstreu	78,6	82,0	61,5	78,9	100,0					
Schweine	Säugende Sauen	Güste/tragende Sauen	Jungschw. b. Bes.	Läufer 35 kg	Mastschweine Zuchteber					
Gruppenbuchten	31,8	58,8	100,0	100,0	100,0					
Einzel/Anbindehaltung	68,2	41,2	0,0	0,0	0,0					
ohne Einstreu	9,9	31,5	33,4	27,9	46,3					
mit Einstreu	90,1	68,5	66,6	72,1	53,7					
Geflügel	Elterntier Legerichtung	Junghennen- aufzucht	Legehennen	Elterntier Broiler	Broilermast	Puten- produktion	Enten- produktion	Gänse- produktion		
Bodenhaltung	100,0	100,0	40,6	89,9	100,0	81,8	99,5	92,4		
Käfighaltung	0,0	0,0	59,3	10,1	0,0	18,2	0,4	0,0		
Freilandhaltung	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6		

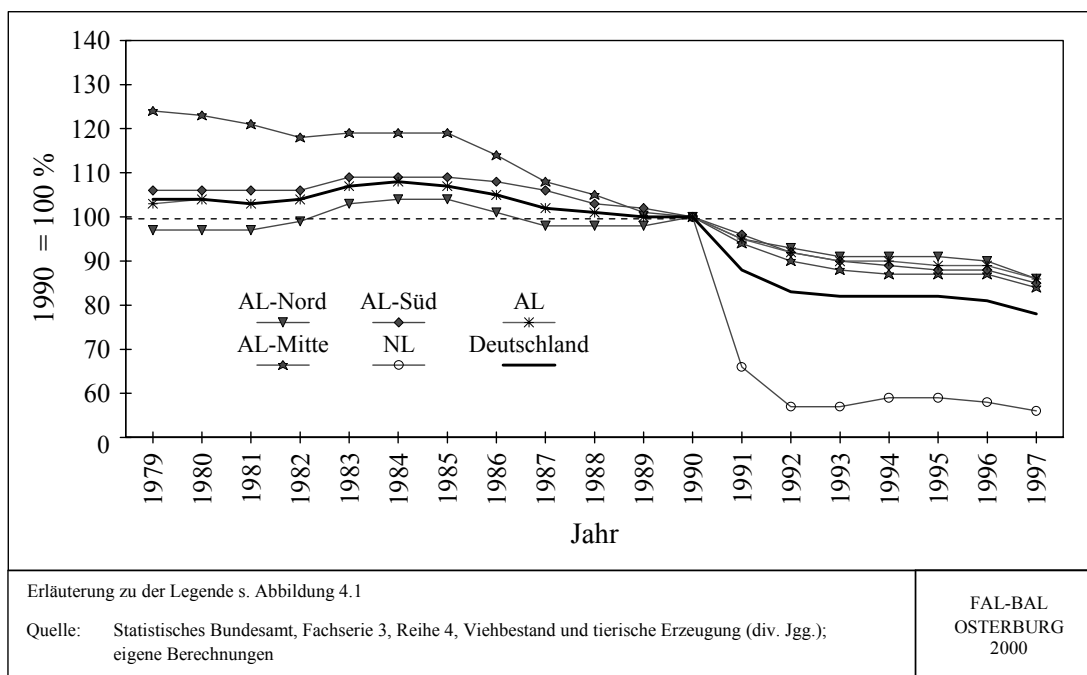
Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)										Rostock
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen										
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J		Jungrinder	Mastrinder		Zuchtbullen			
				tr. Färsen						
Anbindehaltung	84,0	33,0	54,6	83,5	97,6					
Laufstallhaltung	16,0	67,0	45,4	16,5	2,4					
ohne Einstreu	25,6	49,7	46,3	21,6	0,0					
mit Einstreu	74,4	50,3	53,7	78,4	100,0					
Schweine	Säugende	Güste/tragende		Jungschw.	Läufer	Mast-	Zuchteber			
	Sauen	Sauen	b. Bes.	35 kg	schweine					
Gruppenbuchten	29,6	32,4	100,0	100,0	100,0	100,0				
Einzel/	70,4	67,6	0,0	0,0	0,0	0,0				
Anbindehaltung										
ohne Einstreu	10,8	60,6	36,3	43,7	66,3	57,7				
mit Einstreu	89,2	39,4	63,7	56,3	33,7	42,3				
Geflügel	Elterntier	Junghennen-		Legehennen	Elterntier	Bröilermast	Puten-	Enten-	Gänse-	
	Legerichtung	aufzucht			Bröiler		produktion	produktion	produktion	
Bodenhaltung	100,0	24,3	1,3	100,0		100,0	68,8	100,0	93,3	
Käfighaltung	0,0	75,7	98,7	0,0		0,0	31,3	0,0	0,0	
Freilandhaltung	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	6,7	

Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)										Schwerin
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen										
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J		Jungrinder	Mastrinder		Zuchtbullen			
				tr. Färsen						
Anbindehaltung	89,8	47,6	40,1		75,4		85,3			
Laufstallhaltung	10,2	52,4	59,9		24,6		14,7			
ohne Einstreu	26,0	32,6	53,6		21,9		0,0			
mit Einstreu	74,0	67,4	46,4		78,1		100,0			
Schweine	Säugende Sauen	Güste/tragende Sauen		Jungschw. b. Bes.	Läufer 35 kg	Mastschweine		Zuchteber		
Gruppenbuchten	16,5	41,3	100,0		100,0	100,0		100,0		
Einzel/	83,5	58,7	0,0		0,0	0,0		0,0		
Anbindehaltung										
ohne Einstreu	17,9	43,8	36,1		54,7	42,1		76,5		
mit Einstreu	82,1	56,2	63,9		45,3	57,9		23,5		
Geflügel	Elterntier Legerichtung	Junghennen- aufzucht		Legehennen	Elterntier Broiler	Broilermast		Puten- produktion	Enten- produktion	Gänse- produktion
Bodenhaltung	70,2	90,8	3,6		0,0	100,0		0,0	97,9	88,8
Käfighaltung	29,8	9,2	96,4		0,0	0,0		0,0	0,0	0,0
Freilandhaltung	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	2,1	11,2

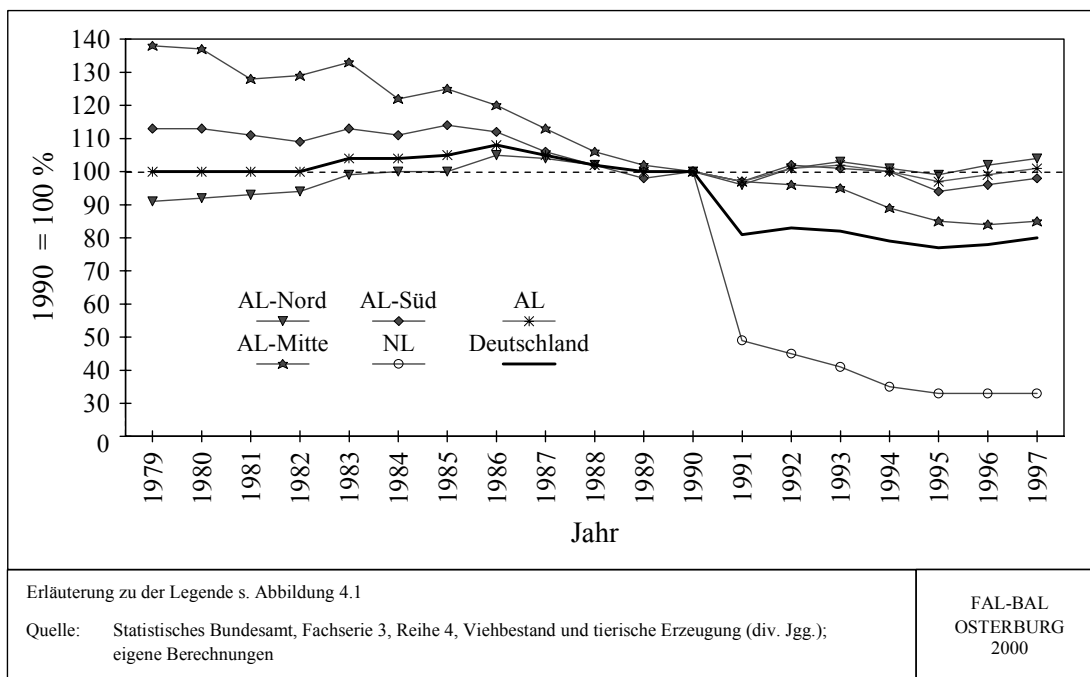
Verfahrensübersicht (DDR-Bausubstanzanalyse 1987, MLFN/IAOE)										Suhl
Relativer Anteil der Tierplätze an Verfahrenslösungen										
Rinder	Kühe	Kälber bis 1/2 J	Jungrinder tr. Färsen	Mastrinder	Zuchtbullen					
Anbindehaltung	70,3	27,7	55,7	54,8	0,0					
Laufstallhaltung	29,7	72,3	44,3	45,2	100,0					
ohne Einstreu	45,5	52,5	50,6	42,0	0,0					
mit Einstreu	54,5	47,5	49,4	58,0	100,0					
Schweine	Säugende Sauen	Güste/tragende Sauen	Jungschw. b. Bes.	Läufer 35 kg	Mastschweine Zuchteber					
Gruppenbuchten	39,1	47,6	100,0	100,0	100,0					
Einzel/	60,9	52,4	0,0	0,0	0,0					
Anbindehaltung										
ohne Einstreu	41,3	75,8	86,0	76,5	77,7	0,0				
mit Einstreu	58,7	24,2	14,0	23,5	22,3	100,0				
Geflügel	Elterntier Legerichtung	Junghennen- aufzucht	Legehennen	Elterntier Broiler	Broilermast	Puten- produktion	Enten- produktion	Gänse- produktion		
Bodenhaltung	0,0	38,2	100,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0		
Käfighaltung	0,0	61,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Freilandhaltung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		



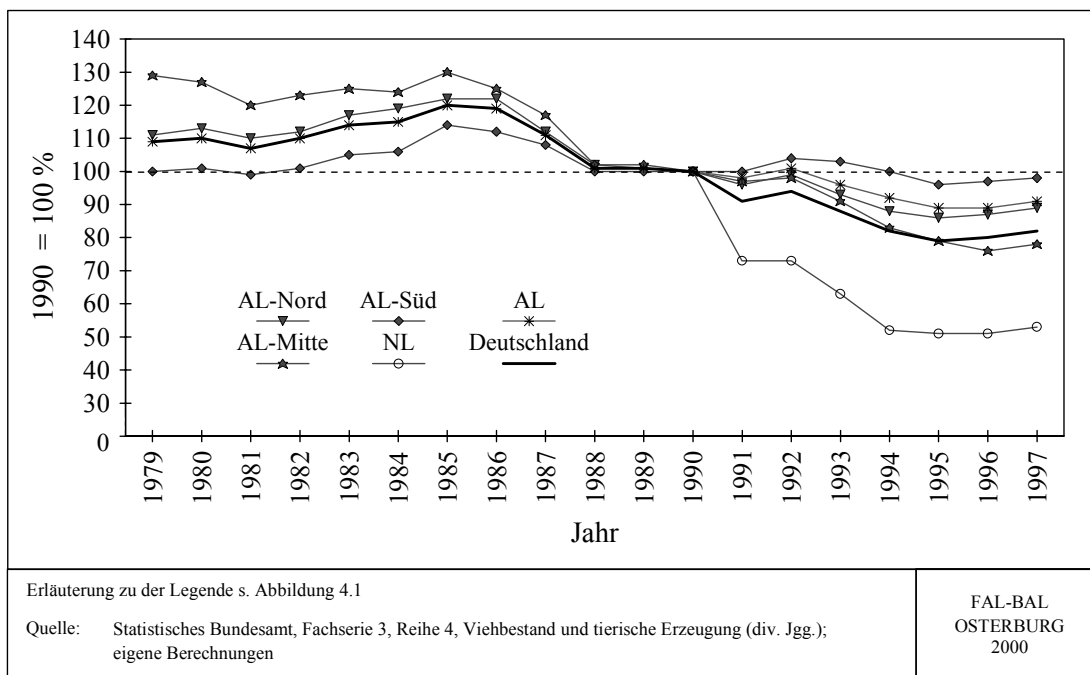
**Abb. A3:** Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979 und 1997 (1990 = 100):  
Milchkühe



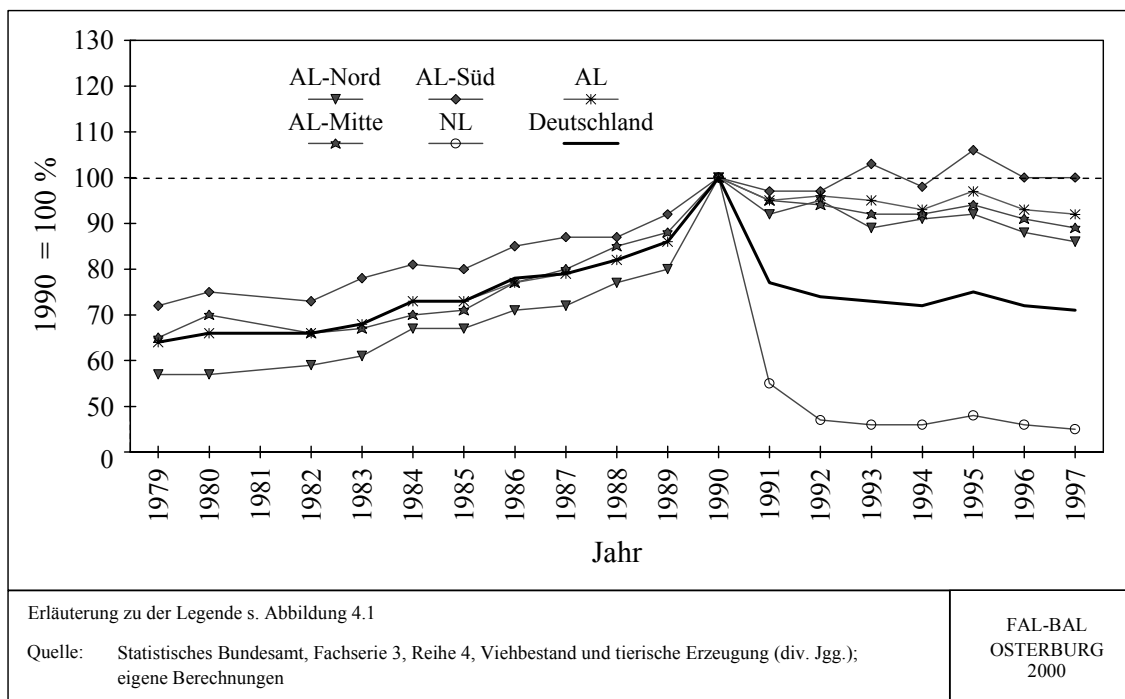
**Abb. A4:** Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979 und 1997 (1990 = 100):  
Rinder insgesamt



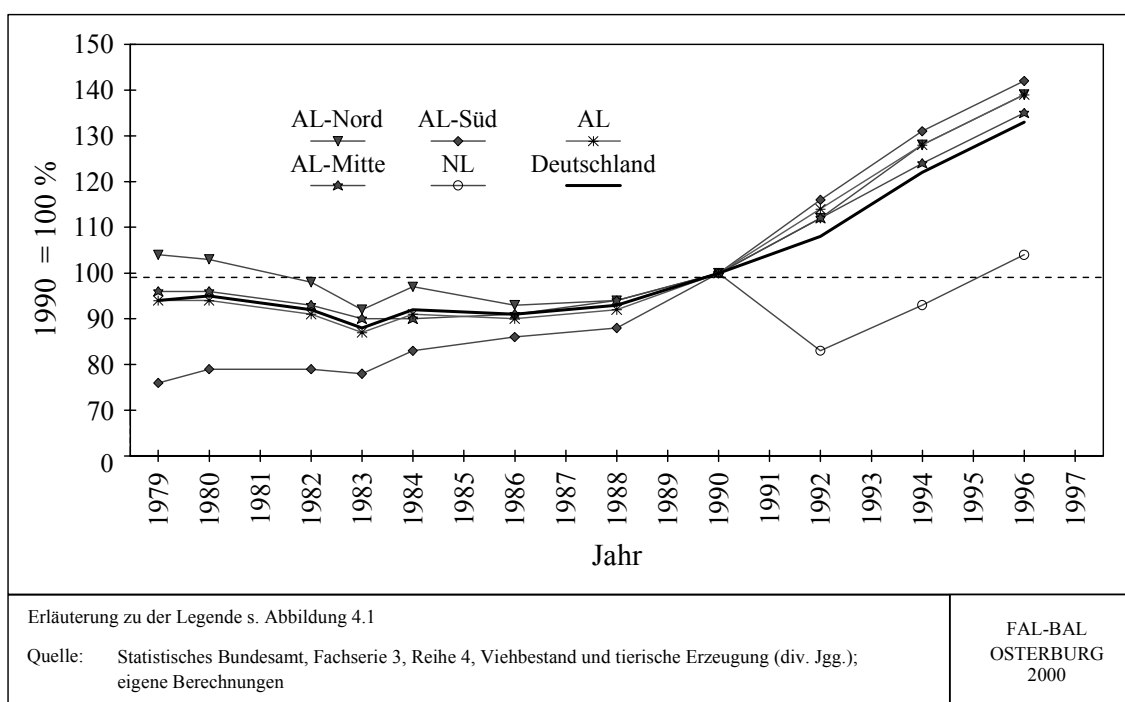
**Abb. A5:** Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979 und 1997 (1990 = 100):  
Mastschweine ab 20 kg



**Abb. A6:** Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979 und 1997 (1990 = 100):  
Zuchtsauen  $\geq 50$  kg

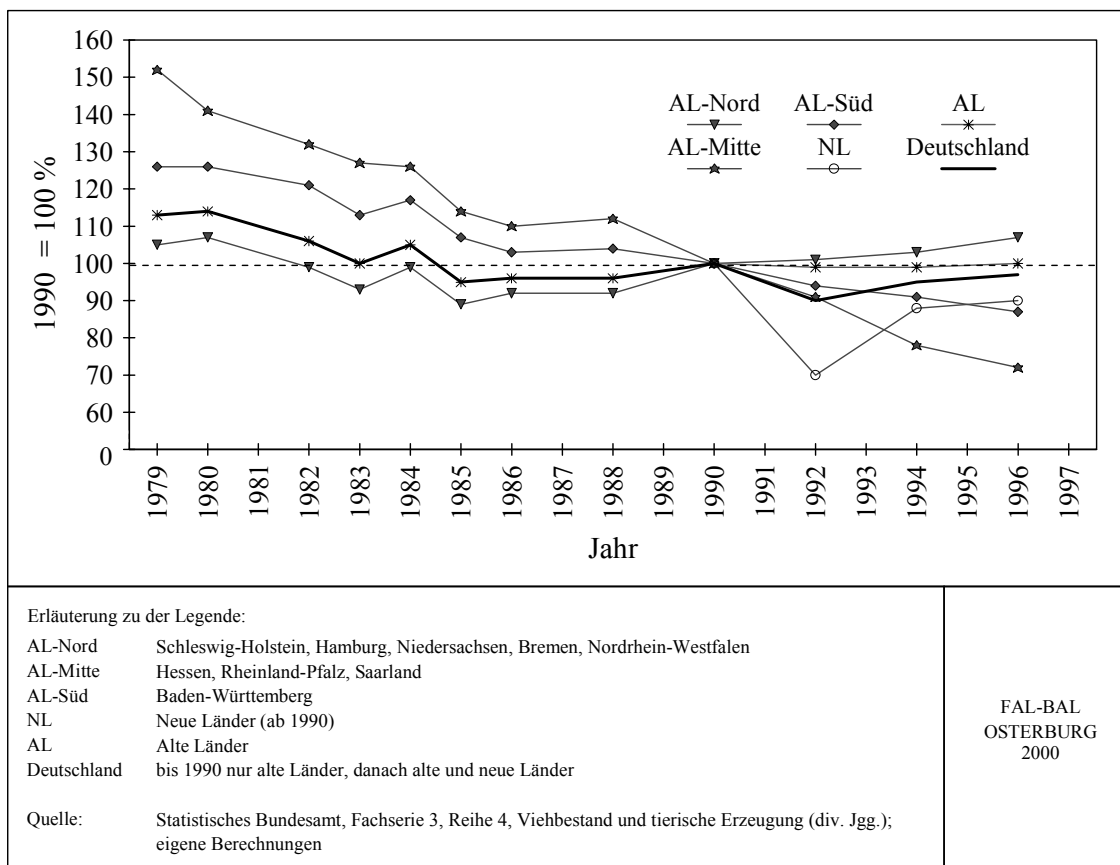


**Abb. A7:** Entwicklung der Zierzahlen zwischen 1979 und 1997 (1990 = 100):  
Schafe

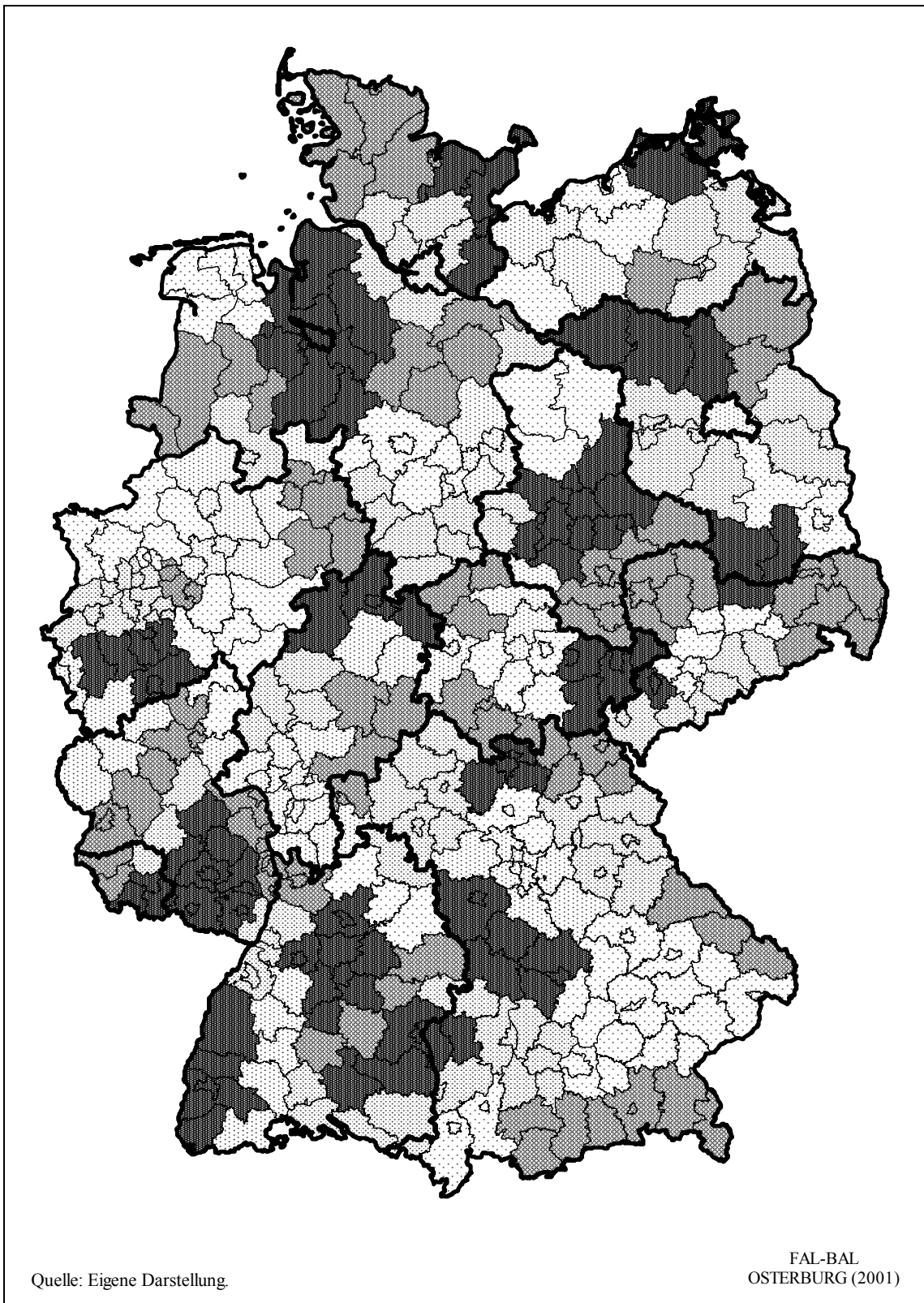


**Abb. A8:** Entwicklung der Zierzahlen zwischen 1979 und 1997 (1990 = 100):  
Pferde und Ponys insgesamt





**Abb. A9/4.1:** Entwicklung der Tierzahlen zwischen 1979 und 1997 (1990 = 100): Geflügel insgesamt



Karte A1: Für klimaabhängige Berechnungen genutzte Klimaregionen  
(69 Wetterstationen)

## Übersicht A3: Maßnahmen und Politiken zur Emissionsminderung

<b>Subventionen und Prämien</b>
<b>Umwelteffekte</b> <p>Die Umwelteffekte von freiwilligen Agrarumweltmaßnahmen gegen Prämienzahlung sind von folgenden Faktoren abhängig:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umwelteffizienz der geförderten Maßnahme,</li> <li>• Anzahl der teilnehmenden Betriebe sowie Anteil dieser Betriebe an den Gesamtemissionen</li> <li>• Umfang, in dem die Maßnahme auch ohne Förderung durchgeführt worden wäre</li> <li>• Freiwillige Umweltmaßnahmen werden in der Tendenz von den Betrieben durchgeführt, welche die Auflagen mit geringem Umstellungsaufwand einhalten können.</li> </ul>
<b>Einkommenseffekte</b> <p>Bei freiwilligen Maßnahmen werden kaum negative Einkommenswirkungen auftreten, da Landwirte nicht an Maßnahmen teilnehmen, von denen sie Einkommensverluste erwarten. Zur Beurteilung der Effizienz freiwilliger Maßnahmen ist abzuschätzen, wie hoch mögliche positive Einkommenseffekte sein können und ob die Subventionen zur Einführung einer Maßnahme überhaupt notwendig sind.</p>
<b>Administration und Kontrolle</b> <p>Mit der Umsetzung freiwilliger Umweltmaßnahmen ist i.d.R. ein erheblicher administrativer Aufwand verbunden. Probleme der Messung und Kontrolle können durch pauschale, handlungs- oder investitionsorientierte Ansätze reduziert werden. Im Gegensatz zu obligatorischen Instrumenten treten hingegen aufgrund der Freiwilligkeit weniger Akzeptanzprobleme auf.</p>
<b>Derzeitige Anwendung für NH<sub>3</sub> - Reduktion</b> <p>Im Rahmen der Agrarumweltmaßnahmen wurden und werden auf Landesebene eine Reihe von Subventionen für direkt oder indirekt emissionsmindernde Maßnahmen gezahlt (handlungs- und investitionsorientiert). Beispiele sind die Förderung der Abdeckung von Güllebehältern, des Kaufs von Ausbringungstechnik, Prämien für bodennahe Gülleausbringung und Prämien für begrenzte Viehbesatzdichten bzw. Bestandsabstockung (Grünlandextensivierung). Mit ergebnisorientierten Prämien für erzielte Umweltleistungen gibt es bislang nur wenig Erfahrungen.</p>
<b>Potential für zukünftige NH<sub>3</sub> – Reduktion</b> <p><b><i>Aufgrund der relativ einfachen politischen Durchsetzbarkeit spielen Subventionen und Prämien eine wichtige Rolle in der Agrarumweltpolitik. Sie haben daher auch ein Potential zur Reduktion von Ammoniak-Emissionen. Vorstellbar und in unterschiedlichem Maße bereits umgesetzt sind:</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Investitionsförderung zur Erhöhung der Güllelagerkapazität, Güllelagerabdeckung und bei der Anschaffung von Ausbringungstechnik,</li> <li>- Prämie/ha bei Anwendung von Emissionsmindernden Ausbringungstechniken</li> </ul> <p>Durch die Bindung unterschiedlicher staatlicher Zuschüsse und Zuwendungen an Umweltkriterien („cross compliance“) können darüber hinaus insbesondere an Investitionen gebundene, leicht zu kontrollierende Umweltmaßnahmen schneller umgesetzt werden.</p>

<b>Beratung</b>
<p><b>Umwelteffekte</b></p> <p>Beratung und Schulung sowie die generellen Empfehlungen der Ämter, Kammern und Beratungsringe haben besonders dann einen starken Einfluss auf die landwirtschaftliche Praxis, wenn die Beratungsinhalte relevant für die Einkommenssituation der Betriebe sind. Über Beratung verbreitete Maßnahmen eines verbesserten Umweltmanagements müssen also auch betriebswirtschaftlich sinnvoll sein.</p>
<p><b>Einkommenseffekte</b></p> <p>Beratung wirkt aufgrund der Freiwilligkeit der Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen i. d. R. einkommensneutral bis einkommensverbessernd. Beratung ist für besonders für „win-win“ Situationen (einkommensverbessernde Managementveränderungen) geeignet. „Umweltberatung“ wird z.B. von der EU im Rahmen der Agrarumweltprogramme gefördert.</p>
<p><b>Administration und Kontrolle</b></p> <p>Aufgrund der unterschiedlichen Struktur der landwirtschaftlichen Beratung (Ämter, Kammern, Ringe und private Beratungsorganisationen) ist zu prüfen, ob für die Umweltberatung in den Ländern geeignete Träger vorhanden sind und mit welchen Mehrkosten ggf. zu rechnen ist.</p>
<p><b>Derzeitige Anwendung für NH<sub>3</sub> – Reduktion</b></p> <p>Die derzeitige Beratung behandelt unter anderem auch die Ammoniakproblematik, meist in Verbindung mit anderen Themen, z. B. zu allgemeinen Fragen des Wirtschaftsdüngermanagements oder zur Umsetzung der Düngeverordnung.</p>
<p><b>Potential für zukünftige NH<sub>3</sub> – Reduktion</b></p> <p>Besonders erfolgversprechend wären spezielle Beratungsprogramme in Hinblick auf:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- die Ausbringungstechnik und -zeiten sowie klimabedingten Ausbringungsverluste für Gülle und</li> <li>- eine N-optimierte Fütterung (Mehrphasenfütterung)</li> </ul>

<b>Verbote und Gebote (Richtlinien, Gesetze, Leitlinien, Auflagen etc.)</b>
<p><b>Umwelteffekte</b></p> <p>Theoretisch bieten Ver- und Gebote die Möglichkeit, konkrete Umwelteffekte zu einem festgesetzten Zeitpunkt zu erzielen. Entscheidend für die Umweltwirkungen sind folgende Aspekte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umwelteffizienz der umzusetzenden Maßnahmen</li> <li>• Kontrollierbarkeit</li> <li>• Durchsetzung der Auflagen (justitiable Kriterien)</li> </ul> <p>Ein nicht unerheblicher Teil der in Richtlinien und Verordnungen festgesetzten „guten fachlichen Praxis“ ist nur schwer zu kontrollieren und bei unzureichender Beweislage nicht justiziabel.</p>
<p><b>Einkommenseffekte</b></p> <p>Aufgrund der Einschränkung von Anpassungsmöglichkeiten und der Einbeziehung aller Betriebe sind gegenüber Instrumenten mit mehr Anpassungsspielraum stärkere, negative Einkommenswirkungen zu erwarten. Negative Einkommenswirkungen können durch die Einräumung von Übergangsfristen, Schaffung langfristiger Planungssicherheit sowie durch Flankierung mit staatlichen Förderprogrammen gemindert werden.</p>
<p><b>Administration und Kontrolle</b></p> <p>Je nach Ansatzstelle kann ein erheblicher Kontrollaufwand entstehen. Handlungs- und managementorientierte Auflagen sind schwerer zu kontrollieren als Auflagen, die sich auf Gebäude, Einrichtungen und Maschinen beziehen.</p>
<p><b>Derzeitige Anwendung für NH<sub>3</sub> – Reduktion</b></p> <p>Ver- und Gebote kommen zur Verminderung von Umweltproblemen der Landwirtschaft verbreitet zum Einsatz, im Bereich der Emissionsminderung z. B. durch die Dünge-VO, die auf den Schutz von Wasser und Boden abzielt (dabei allerdings pauschal erhebliche NH<sub>3</sub>-Emissionen erlaubt).</p> <p>Weitere Regelungen, die im Bereich der Ammoniak-Emissionen, und insbesondere für den Stallbereich eine Bedeutung haben, sind die BImSchG (Bundesimmissionsschutzgesetz) mit der Technischen Anleitung (TA) zur Reinhaltung der Luft und das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG).</p>
<p><b>Politiken für die zukünftige NH<sub>3</sub> – Reduktion</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbot neuer Stallanlagen in Gebieten mit hoher Tierdichte bzw. angrenzenden umweltsensiblen Gebieten bzw. restriktive Genehmigungspraxis</li> <li>- Besatzdichteobergrenzen und Gülleflächennachweise</li> <li>- Vorschrift der Abdeckung von Güllelagern (hier ist insbesondere bei einer festen Abdeckung die Kontrolle problemlos realisierbar)</li> <li>- Vorschrift bestimmter Lagerkapazitäten</li> <li>- Vorschriften zur guten fachlichen Praxis der Wirtschaftsdüngerausbringung, z.B. Gebot einer Einarbeit nach x Stunden</li> <li>- Gülletechnik-TÜV</li> </ul>

<b>Steuern und Abgaben</b>
<p>Beispiele:</p> <p>a) Steuer auf N in Mineraldüngern oder Zukauffuttermitteln (Inputbesteuerung des Handels),</p> <p>b) Steuer auf N-Überschüsse bei betrieblicher N-Bilanz (Steuer auf potentielle Umweltbelastung auf Betriebsebene).</p>
<p><b>Umwelteffekte</b></p> <p>a) Die Verteuerung des zugekauften Stickstoffs führt zu einem effizienteren Einsatz von Stickstoff in der Landwirtschaft. Nach Modellkalkulationen reduziert eine 50%ige N-Besteuerung die N Anwendung aus Mineraldüngern um 9-23%. Von Bedeutung ist das Ausmaß, zu dem die Steuer vom vorgelagerten Bereich an den Landwirt weitergegeben wird.</p> <p>b) Steuern auf betriebliche N-Überschüsse haben etwa den selben Reduktionseffekt, erlauben aber eine regional/lokal angepasste Vorgehensweise.</p> <p>Die Effekte der N-Besteuerung hängen von einer Reihe Einflussfaktoren ab. Intensiv wirtschaftende Betriebe und Regionen reagieren stärker auf Steuern als extensivere. Gemischtbetriebe können eher durch eine teilweise Substitution des mineralischen Düngers durch Wirtschaftsdünger reagieren.</p>
<p><b>Einkommenseffekte</b></p> <p>Einkommenseffekte sind stark abhängig von den Effekten der Steuer auf die Produktion. Negative Einkommenswirkungen können durch Substitutionsmöglichkeiten in der Produktion, Rückerstattung der Steuer an die Landwirtschaft und entsprechende Ausgestaltung der Steuer gemindert werden (z.B. eine bestimmte erlaubte Überschussmenge bei der betrieblichen N-Bilanz).</p> <p>Zur Abwendung negativer Einkommenseffekte existieren weiterhin eine Reihe von Kompensationsmöglichkeiten, etwa durch Ausgleichszahlungen pro ha oder pro Tier.</p>
<p><b>Administration und Kontrolle</b></p> <p>Während eine nationale bzw. EU-weit eingesetzte Besteuerung von Inputs auf der Ebene der Produzenten bzw. des Vertriebs administrativ relativ einfach zu gestalten und leicht kontrollierbar ist, erweist sich eine betriebliche Besteuerung als sehr aufwendig.</p> <p>Eventuell könnte der Steuererklärung ein zusätzliches N-Bilanz Formular angefügt werden. Eine Kontrolle könnte stichprobenartig durchgeführt werden. Die jährliche betriebliche N-Bilanz ist im Rahmen der Düngeverordnung vom 26.1.1996, § 5 bereits für bestimmte Betriebe vorgeschrieben.</p>
<p><b>Derzeitige Anwendung für NH<sub>3</sub> – Reduktion</b></p> <p>bislang nicht angewendet</p>
<p><b>Potential für zukünftige NH<sub>3</sub> – Reduktion</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Da der Großteil der NH<sub>3</sub> Emissionen aus der Tierproduktion stammt, ist eine alleinige Besteuerung des mineralischen N nicht zielgerichtet, könnte allerdings zu einem rationelleren Umgang mit Wirtschaftsdüngern führen. Zielgerichteter, aber auch aufwendiger ist eine Einbeziehung von N in Zukauffuttermitteln.</li> <li>- Unterschiedliche steuerliche Belastungen in Intensiv-Tierhaltungsgebieten und Gebieten mit geringer Besatzdichte</li> <li>- Steuerliche Begünstigung von moderner Ausbringungstechnik</li> </ul>

<b>Handelbare Emissionsrechte (Zertifikate)</b>
<b>Umwelteffekte</b> <p>Da bei der Festlegung von Emissionsrechten zunächst eine Gesamtemissionsmenge festgelegt wird, ist der ökologische Effekt direkt von der hier festgelegten Menge abhängig.</p> <p>Bei handelbaren Zertifikaten ist von Bedeutung, wie groß bzw. homogen die Region ist, in der die Zertifikate gehandelt werden können. Je größer und unterschiedlicher die Region, umso wahrscheinlicher ist ein intensiver Handel mit den Rechten und daraus resultierend, eine lokale Konzentration der Emissionen.</p>
<b>Einkommenseffekte</b> <p>Sektoral betrachtet können Zertifikate unter gewissen Umständen einkommensneutral sein. Allerdings können durch den Handel Transaktionskosten entstehen.</p> <p>Einkommenseffekte sind u.a. abhängig von der festgesetzten Emissionsmenge, der Frage, ob die Zertifikate verteilt oder verkauft werden sowie von den Anpassungsmöglichkeiten der Produzenten.</p>
<b>Administration und Kontrolle</b> <p>Die Einführung von Zertifikaten erfordert die Bereitstellung einer Institution, welche die Verteilung der Rechte und gegebenenfalls deren Handel organisiert und koordiniert. In Deutschland gibt es bisher kaum Erfahrungen mit solchen Einrichtungen.</p> <p>Die Festsetzung der anfänglichen Gesamtemissionsmenge ist ein politisch schwieriges Unterfangen, ebenso wie die Bestimmung von Reduktionszielen und Mengen. Die Bemessung der tatsächlichen betrieblichen Emissionsmengen sowie ihre Kontrolle stellt das entscheidende Problem dar.</p>
<b>Derzeitige Anwendung für NH<sub>3</sub> – Reduktion</b> <p>Bislang nicht angewendet. Handelbare Rechte sind bislang hauptsächlich im Zusammenhang mit Treibhausgasemissionen diskutiert worden und hier in manchen Ländern schon eingeführt.</p>
<b>Potential für zukünftige NH<sub>3</sub> – Reduktion</b> <p>Da Ammoniakemissionen starke lokale Auswirkungen haben, wäre der Handel entsprechend kleinräumig zu organisieren, was wiederum die ökonomisch erwünschten, räumlichen Anpassungsmöglichkeiten einschränkt.</p> <p>Die Konsensfindung für die nationale Gesamtemissionsmenge wird hingegen voraussichtlich durch die in der EU-Richtlinie festgesetzte Obergrenzen vermieden. Problematisch ist hingegen die weitere Regionalisierung dieser Obergrenze.</p> <p>Voraussetzung für die Festlegung von Emissionsrechten ist eine standardisierte Berechnung und Kontrolle betrieblicher NH<sub>3</sub>-Emissionen, was erhebliche Kontrollprobleme aufwirft.</p>