

Aus dem Institut für Agrarökologie

Ulrich Dämmgen
Ulrike Döring

Nationales Emissionsinventar - Teilbericht Landwirtschaft (CRF Sektor 4)

Veröffentlicht in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 291, S. 21-45

Braunschweig
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
2005

NATIONALES EMISSIONSINVENTAR – TEILBERICHT LANDWIRTSCHAFT (CRF SEKTOR 4)*

Ulrich Dämmgen¹ und Ulrike Döring²

1 Beschreibung der Quellgruppe

Die Zuordnung der Emissionen zu den jeweiligen Emissionsquellen erfolgt nach den Berichtskategorien CRF (Common Reporting Format, IPCC) bzw. NFR (Nomenclature for Reporting, UNECE / EMEP).

Zur Quellgruppe 4 „Landwirtschaft“ gehören in Deutschland die Emissionen aus der Fermentation bei der Verdauung (4.A), aus der Behandlung von Wirtschaftsdüngern (4.B) und aus den landwirtschaftlichen Böden (4.D).

Emissionen aus dem Reisanbau (4.C) kommen in Deutschland nicht vor, Brandrodung (4.E) wird in Deutschland nicht praktiziert (NO). Das Verbrennen von Ernterückständen auf dem Feld (4.F) ist in Deutschland untersagt, wobei sich die genehmigten Ausnahmen nicht erfassen lassen. Sie werden als irrelevant angesehen (NO).

Die deutschen Inventare der Gase Methan (CH₄), Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe (NMVOC), Kohlenstoffdioxid (CO₂), Ammoniak (NH₃), Distickstoffoxid (N₂O) und Stickstoffmonoxid (NO) aus landwirtschaftlichen Quellen wurden unter Nutzung der jeweiligen Handbücher (UN ECE: EMEP, 2003; IPCC Guidelines: IPCC, 1996b; IPCC Good Practice Guidance: IPCC-GPG, 2000) sowie nach weiteren dokumentierten Quellen erstellt. Die Kenntnis der Emissionen von Distickstoff (N₂) ist für die Berechnungen der dem Boden zugeführten N-Mengen und so für die Bestimmung indirekter Emissionen erforderlich. Diese Emissionen wurden berechnet; über sie wird jedoch nicht berichtet.

Die CO₂-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden als Folge von Düngeranwendungen (Kalkung) werden mit den in diesem Kapitel beschriebenen Datensätzen errechnet und unter CRF 5.D berichtet.

2 Herkunft der Aktivitätsdaten

Aktivitätsdaten werden, soweit vorhanden, der offiziellen deutschen Agrarstatistik entnommen. Für

jedes zweite Jahr stehen die Ergebnisse der vollständigen Tierzählung für die deutschen Kreise zur Verfügung, für die dazwischen liegenden Jahre sind nur Tierzahlen für die einzelnen Bundesländer vorhanden. Die Tierzählungen umfassen alle Rinder, alle Schweine, Pferde, Schafe und alles Geflügel. Die Daten der vorletzten Tierzählung (2001) sind für mit einer räumlichen Auflösung von Landkreisen verfügbar. Die Datensätze sind aus Gründen des Datenschutzes unvollständig. Hoch aufgelöste Daten für 2003 liegen noch nicht vor.

Tierzahlen für Ziegen, Esel und Maultiere sowie Pelztiere und Büffel werden in der deutschen Agrarstatistik nicht erfasst. Hinweise auf die Größenordnung der Tierzahlen sind verfügbar. Das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) schätzt die Ziegenzahlen. Diese Zahlen werden für das Inventar verwendet. Für Esel und Maultiere beläuft sich die Zahl der in Deutschland gehaltenen Tiere auf etwa 6000 bis 8000 Esel und ca. 500 Maultiere und Maulesel (DÄMMGEN et al., 2006). Die Emissionen werden als vernachlässigbar betrachtet (NE). Die Zahlen für Pferde werden nur teilweise durch die amtlichen Tierzählungen erfasst und fallen vermutlich zu niedrig aus; sie wurden teilweise korrigiert (DÄMMGEN, 2005). Die Zahlen für Schafe müssen für manche Jahre korrigiert werden (siehe DÄMMGEN, 2005). Die Zahlen für Pelztiere zur Berechnung der NH₃-Emissionen wurden einmalig für das Jahr 2000 durch BMVEL bei den einzelnen Bundesländern nachgefragt und teilweise geschätzt. CH₄- und N₂O-Emissionen werden für Pelztiere (CRF Kategorie „Others“) mangels entsprechender Rechenverfahren nicht quantifiziert (NE). Die Zahlen für Büffel wurden von Deutschen Büffel-Verband zur Verfügung gestellt.

Die verwendeten Tierzahlen für Kälber und Aufzuchtferkel weichen von den aggregierten Zahlen der Offizialstatistik ab.

* Auszugsweise Wiedergabe des Textes des Nationalen Emissionsinventars

¹ Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

² Umweltbundesamt, Fachgebiet I 4.6 „Emissionssituation“, Postfach 1406, 06813 Dessau

Vollständige Flächennutzungsdaten werden in Deutschland alle vier Jahre erhoben. Die Flächen dienen in den Inventaren einmal als Aktivitäten, Flächen und Erträge aber insbesondere auch als Eingangsdaten für die Modellierung von wichtigen Parametern zur Beschreibung von Haltungsverfahren und Wirtschaftsdünger-Management (siehe unten). Die Daten der letzten Erhebung (2003) liegen nicht in verwertbarer Form (d.h. auf Kreisebene) vor. Sie wurden nicht berücksichtigt.

3 Herkunft der die Emissionsfaktoren bestimmenden Variablen

Zahlreiche wichtige Größen, die für die Berechnung von Emissionen nach einem Tier-2-Verfahren benötigt werden, sind nicht in den offiziellen Statistiken verfügbar. Sie wurden der allgemein verfügbaren Literatur, Veröffentlichungen von Verbänden oder Regelwerken für die landwirtschaftliche Beratung in Deutschland entnommen.

Wichtige Parameter, die die Haltung von Tieren, die Lagerung der Wirtschaftsdünger und ihre Ausbringung betreffen, wurden modelliert. Die Ausgangsdaten hierfür werden durch Befragungen erhoben und in Sonderauswertungen statistischer Daten gewonnen.

Die Berechnungsmethoden und die Bereitstellung der Aktivitätsdaten sind in DÄMMGEN et al. (2005) ausführlich beschrieben.

4 Emissionen aus der Fermentation bei der Verdauung (4.A)

Im Bereich der Tierhaltung sind die CH₄-Emissionen aus der Fermentation bei der Verdauung (4.A) zu berichten. Mikrobielle Umsetzungen insbesondere von Cellulose im Magen von Wiederkäuern setzen CH₄ frei. Die pro Tier und Zeiteinheit abgegebenen Mengen sind von der Tierart, der individuellen Leistung der Tiere und der Nahrungszusammensetzung abhängig.

Die Quellgruppe 4.A Fermentation bei der Verdauung ist im ZSE in die Hauptkategorien Rinder, Schafe und Ziegen, Pferde, Esel und Maultiere, Schweine und Büffel unterteilt. Deutschland unterteilt die Hauptkategorien Rinder, Schweine und Pferde in Subkategorien (siehe Tabelle 2).

Die Kategorie CRF 4.A.1 „Cattle“ setzt sich aus Milchkühen („dairy cows“) und den aggregierten Tierzahlen anderer Rinder („other cattle“) zusammen. Die Gruppe der anderen Rinder bildet ein Aggregat aus Kälbern, Färsen, Mastbullen, Mutterkühen und Zuchtbullen.

Bei Pferden (CRF 4.A.6) werden Großpferde und Kleinpferde unterschieden. Über Esel und Maultiere wird nicht berichtet.

Das deutsche Inventar gliedert die Kategorie CRF 4.A.8 „Schweine“ nach Sauen, Aufzuchtferkeln, Mastschweinen und Ebern.

Die Emissionen aus der Verdauung bei der Geflügelhaltung werden nicht berechnet, da keine Methode bekannt ist (NA).

Die Zuordnung der in der Officialstatistik erfassten Tierzahlen zu Subkategorien ist in einigen Fällen nicht direkt möglich. Die Zuordnung wird in DÄMMGEN et al. (2006) im Einzelnen näher beschrieben.

4.1 Beschreibung der Quellgruppe

Innerhalb der Quellgruppe Fermentation bei der Verdauung (4.A) ist die Kategorie „Milchkühe“ (4.A.1.a) nach der Emissionshöhe eine Hauptquellgruppe; die Kategorie „übrige Rinder“ (4.A.1.b) ist eine Hauptquellgruppe nach Emissionshöhe und Trend.

Deutschland berichtet über die Emissionen von CH₄ aus der Fermentation bei der Verdauung bei der Haltung von Milchkühen, anderen Rindern (Kälbern, Färsen, Bullen, Mutterkühen und Zuchtbullen), Schweinen, Schafen, Ziegen, Pferden und Büffeln. Für die Behandlung von Geflügel fehlen Methoden (NA); die hier entstandenen Mengen werden in Übereinstimmung mit IPCC (IPCC, 1996b, Chapter 4, Tab. A-4) als vernachlässigbar angesehen und nicht berechnet (Eintrag: NO).

4.2 Methodische Aspekte (4.A)

Zur Bestimmung der bei der Fermentation auftretenden Emissionen werden zwei unterschiedlich detaillierte Methoden vorgeschlagen, eine einfache, mit konstanten Emissionsfaktoren auf der Grundlage von international anerkannten Schätzwerten (Tier-1-Verfahren) und eine den Emissionsprozess abbildende Methode, die zu variablen Emissionsfaktoren (in Abhängigkeit von Ort und Zeit) führt (Tier-2-Verfahren).

Prinzipiell werden die Emissionen nach beiden Verfahren in folgenden Schritten berechnet:

1. Ermittlung hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Emissionen homogener Tierbestände (Tierkategorien, Subkategorien)
2. Ermittlung der Aktivitätsdaten, d.h. der jeweils relevanten Tierzahlen nach Tierart (Hauptkategorie) und alters-, geschlechts- und gewichtsbezogener Subkategorie
3. Ermittlung der Emissionsfaktoren je relevanter Kategorie
4. Berechnen der Gesamtemissionen

Tabelle1: CH₄-Emissionen E_{CH₄} aus der Tierhaltung (Fermentation bei der Verdauung)

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|-----------------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Tg a ⁻¹ CH ₄] | | | | | | | | | | | | | | |
| E _{CH₄} | 1,16 | 1,03 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,99 | 0,96 | 0,95 | 0,95 | 0,94 | 0,95 | 0,92 | 0,91 | 0,88 |

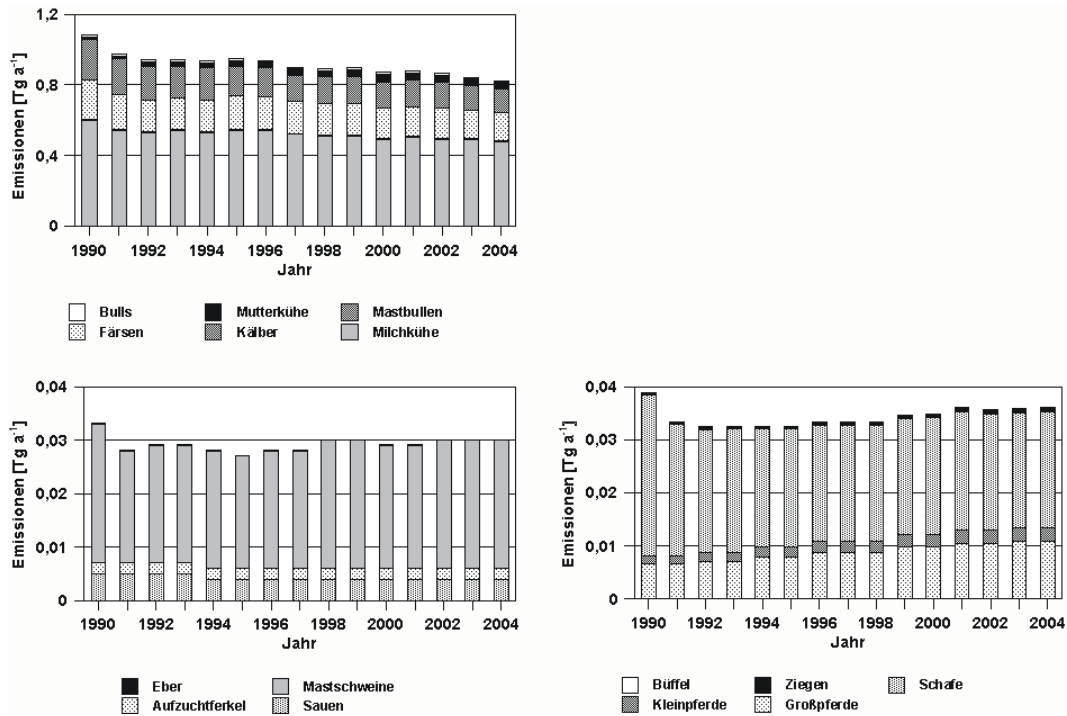


Abbildung 1: Zeitreihen der CH₄-Emissionen E_{CH₄} (Fermentation bei der Verdauung) der betrachteten Tierkategorien. Oben links: Rinder; unten links: Schweine; unten rechts: Pferde, Schafe, Ziegen und Büffel

IPCC-GPG (2000) sieht die detailliertere Methode (Tier 2) vor, wenn ein Land die Methan-Emissionen aus der Tierhaltung als Hauptquellgruppe für seine Inventare ausgewiesen hat.

Das Tier-2-Verfahren erfordert die differenzierte Charakterisierung der Tierbestände. Hat eine Subkategorie einen signifikanten Beitrag an den verdauungsbedingten Methan-Emissionen, müssen diese nach einem Tier-2-Verfahren ermittelt werden. Das bedeutet, dass ein landesspezifischer bzw. regionspezifischer und zeitabhängiger Emissionsfaktor für diese Tiere aus einer entsprechend variablen Bruttoenergie-Aufnahme nach der folgenden Gleichung ermittelt werden soll:

$$EF_i = \frac{GE \cdot x_m \cdot \alpha}{\eta_{CH_4}} \quad (Gl. 1)$$

mit EF_i Emissionsfaktor für jede Subkategorie i [%]
 GE Bruttoenergieaufnahme [MJ Tier⁻¹ d⁻¹]

x_m Methankonversionsrate (der Anteil der Bruttoenergie, der in Methan umgewandelt wird [MJ MJ⁻¹])
 α Umwandlungsfaktor (365 d a⁻¹)
 η_{CH₄} Energiegehalt von Methan (55,65 MJ (kg CH₄)⁻¹)

Dabei berechnet sich die Bruttoenergieaufnahme aus der detaillierten Charakterisierung des Viehbestands und die Methan-Konversionsrate aus IPCC-GPG (2000: Tabelle 4-8) bzw. aus nationalen Daten. Da der Methan-Konversionsrate x_m (IPCC: Y_m) eine wichtige Treibergröße in dieser Gleichung darstellt, sollte auch für diese eine Differenzierung nach Tierart, Alter/Gewicht und Fütterung vorhanden sein.

Die Werte sind in IPCC (1996) gegeben. Für Kälber wurden nationale Werte verwendet.

Die Gesamtemissionen werden anschließend folgendermaßen ermittelt:

$$E_{CH_4} = \beta \cdot \sum EF_i \cdot n_i \quad (Gl. 2)$$

mit: E_{CH₄} Methan-Emissionen [Gg a⁻¹]

- EF_{i,CH_4} Emissionsfaktor für jede Subkategorie i [$kg\ Tier^{-1}\ a^{-1}$]
 n_i Populationsgröße jeder Subkategorie i [Anzahl Tiere]
 β Umwandlungsfaktor [$10^6\ kg\ Gg^{-1}$]

In der Analyse der Hauptquellgruppen in der Landwirtschaft wurden die CH_4 -Emissionen der Milchkühe und der sonstigen Rinder in der Kategorie 4.A „Fermentation bei der Verdauung“ als Hauptquellgruppen identifiziert. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit einer differenzierten Charakterisierung des Tierbestandes.

Die Berechnung der Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management mit Hilfe eines Tier-2-Verfahrens setzt voraus, dass die Eingangsdaten (hier die Ausscheidung von volatile solids, VS, und von Stickstoff) detailliert berechnet werden. Da die Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-

Management bei Schweinen eine Hauptquellgruppe darstellen, müssen auch für diese Tierkategorie die Emissionen aus der Verdauung nach dem Tier-2-Verfahren berechnet werden.

4.2.1 Charakterisierung der Tierbestände

Der Tierbestand wird in Haupt- und Subkategorien unterteilt, für die Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren gleichermaßen zur Verfügung stehen.

Eine Disaggregation erfolgt dabei stets, wenn zwischen den Emissionsfaktoren signifikante Unterschiede vorliegen. Ein Vergleich der deutschen Unterkategorien mit den IPCC-Vorschlägen ist in Tabelle 2 gegeben.

Tabelle 2: Detaillierte Charakterisierung der Tierbestände nach IPCC und die in Deutschland vorgenommene Einteilung

| | IPCC-Hauptkategorien | IPCC-Subkategorien | Deutschland |
|----------|---|--|--|
| Rinder | Milchkühe | Unterteilung in zwei oder mehr Leistungsklassen | Milchkühe, leistungs- und fütterungsabhängige Erfassung für jeden Landkreis |
| | Ausgewachsene sonstige Rinder | männlich/weiblich Mast und Remontierung | Mutterkühe, Zuchtbullen |
| | Jungtiere | Färsen, Kälber, männliche Jung-rinder | Kälber, männliche und weibliche Jungrinder (Färsen und Mastbul-len) |
| Schweine | Sauen | Tragende Sauen Ferkelnde Sauen | Sauen (inklusive Saugferkeln) |
| | Eber | — | Eber |
| | Jungtiere | Gesäugte Ferkel Wachsende Jungtiere Schlacht reife Tiere | Aufzuchtferkel, Mastschweine |
| Schafe | Mutterschafe | Tragende Schafe Milchschafe | Schafe, Mutterschafe, Lämmer |
| | Schafe >1 Jahr Jungtiere | — Männliche Tiere, kastrierte Tiere, weibliche Tiere | |
| sonstige | Pferde, Geflügel, Ziegen, Esel, Maultiere, Kamele, Pelztiere, etc. | — | Pferde (Großpferde und Klein-pferde), Geflügel (Legehennen, Masthähnchen und -hühnchen, Junghennen, Gänse, Enten, Pu-ten), Ziegen, Pelztiere, Büffel |

Spalten 1 und 2 nach IPCC (2000)

4.2.1.1 Tierzahlen

Wesentliche Grundlage der Aktivitätsdaten sind die Tierzählungen der Jahre 1990, 1992, 1994, 1996,

1999, 2001 und 2003. Eine Interpolation der Tierzahlen zur Beschreibung der Jahre ohne Tierzahlen fand nicht statt; stattdessen wurden die Tierzahlen jeweils fortgeschrieben (LÜTTICH et al., 2006).

Lücken, die bei den Neuen Bundesländern für die Jahre 1990 bis 1993 auftraten, wurden durch Expertenschätzungen geschlossen.

4.2.1.2 *Milchkühe*

Bei den Milchkühen gibt die Officialstatistik Auskunft über Schlachtkörpergewichte, aus denen Lebendgewichte abgeleitet werden können. Die Milchleistung wird öffentlichen Statistiken auf Kreisebene entnommen. Milchfett- und Milcheiweiß-Gehalte werden von Verbänden veröffentlicht (räumliche Auflösung: Bundesländer). Die relevanten Variablen zur Haltung (hier Dauer des Weidegangs) wurden auf der Basis von Daten außerhalb der Officialstatistik (Befragungen und Sonderauswertungen) modelliert.

4.2.1.3 *Andere Rinder*

Bei Rindern außer Milchkühen wird zwischen Kälbern, weiblichen und männlichen Masttieren (Färsen und Mastbullen), Mutterkühen und Zuchtbullen unterschieden. Deren Schlachtkörpergewichte werden der Officialstatistik entnommen und auf Lebendgewichte umgerechnet. Für Zuchtbullen wurden konstante Gewichte aus der Literatur entnommen. Einzelheiten zur Fütterung und Leistung wurden landwirtschaftlichen Standardwerken entnommen und mit Experten diskutiert. Alle weiteren anderen Variablen wurden wie bei den Milchkühen modelliert. Die unter „weibliche Mastkühe“ aufgeführten Tiere dienen je nach Marktlage zur Remontierung oder zum Schlachten. Remontierungskühe und Schlachttiere unterscheiden sich hinsichtlich Fütterung und Haltung nicht.

Die in der Tierzählung verwendete Charakterisierung der Bestände hinsichtlich Alter und Gewicht entspricht nicht den verfügbaren Daten zum Energiehaushalt und zur Fütterung. Die in der Tierzählung ausgewiesenen Kälber werden nur etwa zur Hälfte als Kälber im Sinne des Inventars angesehen. Die andere Hälfte wird auf Färsen und Mastbullen aufgeteilt.

4.2.1.4 *Schweine*

Bei Schweinen wird zwischen Sauen, Aufzuchtferkeln, Mastschweinen und Ebern unterschieden. Die zur Beschreibung notwendigen Einzelheiten wurden von Züchterverbänden und von der Futtermittelindustrie erhalten. Fehlende Daten für die Neuen Bundesländer für die Zeit nach 1990 wurden in Expertengesprächen ermittelt.

4.2.1.5 *Pferde*

Die Anzahl der Pferde wurde wegen der Eigenarten der deutschen Tierzählungspraxis korrigiert (DÄMMGEN, 2006). Diese Korrektur berücksichtigt die Großpferde und Kleinpferde getrennt. Großpferde und Kleinpferde unterscheiden sich hinsichtlich ihres Energie- und Futterbedarfs. Für Deutschland typische Verhältnisse wurden aus der Literatur abgeleitet und verwendet (siehe DÄMMGEN et al., 2006).

4.2.1.6 *Schafe*

Die Zahlen der Schafe mussten korrigiert werden (DÄMMGEN, 2006). Dazu war es notwendig, Lämmer und übrige Schafe getrennt zu betrachten.

4.2.1.7 *Alle anderen Tiere*

Bei allen anderen Tieren, die nach dem Tier-1-Ansatz berechnet werden, sind weitere Unterteilungen nicht notwendig. Default-Emissionsfaktoren für Subkategorien existieren nicht. Sie sind auch nicht sinnvoll anzuwenden, wenn die entsprechenden nationalen Daten nicht verfügbar sind. Detaillierte Daten über Tierbestände (national und auf Bundeslandebene) und zusätzliche Informationen sind in LÜTTICH et al. (2005) zu finden.

4.2.2 *Berechnung der CH₄-Emissionen aus der Milchkuh-Haltung*

Zur Bestimmung des Emissionsfaktors wird der in IPCC (1996b) vorgeschlagene Ansatz verwendet. Das Körpergewicht wird aus Schlachtkörperdaten berechnet (Auflösung: Bundesländer und Jahre). Die Erhaltungsenergie wird hieraus unter Verwendung des in Deutschland üblichen konstanten Faktors berechnet. Die Energie für die Nahrungsaufnahme lässt sich aus den Weidegangzeiten (Auflösung: Bundesländer und Jahre) ableiten. Die Milchleistung ist für (nahezu) jeden Kreis und jedes Jahr erhältlich. Die Milchfettgehalte werden den Berichten der Verbände entnommen (Auflösung: Bundesländer und Jahre). Bei Milchkühen wird angenommen, dass die Gewichtszunahme während dieses Lebensabschnitts vernachlässigbar ist. Die Verdaulichkeit wurde als Funktion der Leistung bei typischer Fütterung formuliert (nationale Daten; Auflösung: Kreise und Jahre).

Das nach Bundesländern gewichtete Mittel der Milchleistung liegt für Deutschland bezogen auf das Basisjahr 1990 bei 12,9 kg Tier⁻¹ d⁻¹ und weicht somit geringfügig von dem für Westeuropa angenommenen Wert von 11,5 kg Tier⁻¹ d⁻¹ in IPCC (IPCC, 1996b: Table A-1) ab. Für 2004 beträgt dieser Wert 18,0 kg Tier⁻¹ d⁻¹. Dieser Unterschied ist

erheblich. Alle Informationen sind in LÜTTICH et al. (2006) zusammengestellt.

Die CH_4 -Emissionsfaktoren in Deutschland bewegen sich zwischen $77 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CH}_4$ (1990) und $116 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CH}_4$ (2004); sie liegen im nationalen Mittel bei $94,8 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CH}_4$ (1990) und $111,7 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CH}_4$ (2004). Eine detaillierte Übersicht der verwendeten Emissionsfaktoren findet sich in LÜTTICH et al. (2006), ihr Zustandekommen ist in DÄMMGEN et al., 2006) beschrieben.

4.2.3 Berechnung der CH_4 -Emissionen aus der Haltung anderer Rinder (Kälber, Färsen, Mastbulle, Mutterkühe, Zuchtbullen)

Für die Berechnung des Energie- und Futterbedarfs wachsender Tiere werden die den Lebensabschnitt bestimmenden Größen (Anfangs- und Endgewicht und Gewichtszunahme bzw. Dauer des Lebensabschnitts) benötigt. Sie werden aus Schlachtstatistiken, Veröffentlichungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie und Standardwerken der landwirtschaftlichen Planung gewonnen oder abgeleitet. Wenn nationale Daten nicht verfügbar waren, wurden Default-Werte nach IPCC (1996b) verwendet. Es wurde berücksichtigt, dass saugende Kälber keine Wiederkäuer sind. Die Methan-Konversionsrate wurde entsprechend niedriger gewählt. Zu den die Emissionsfaktoren bestimmenden Größen und den resultierenden Emissionsfaktoren siehe LÜTTICH et al. (2006), zu den Einzelheiten ihrer Ableitung DÄMMGEN et al. (2006).

Die Emissionen aus der Haltung von Mutterkühen und Zuchtbullen werden nach dem Tier-2-Verfahren unter Annahme konstanter Gewichte aus dem Energiebedarf berechnet.

Es ergeben sich folgende mittlere Emissionsfaktoren für das Jahr 2004:

Tabelle 3: CH_4 -Emissionsfaktoren IEF_{CH_4} aus der Haltung von Rindern außer Milchkühen (Fermentation bei der Verdauung) (2004)

| Unterkategorie | $IEF_{\text{CH}_4} [\text{kg Platz}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CH}_4]$ |
|----------------|--|
| Kälber | 3,8 |
| Färsen | 33,5 |
| Mastbulle | 53,8 |
| Zuchtbullen | 56,7 |
| Mittelwert | 38,5 |
| IPCC-Default | 48 |

4.2.4 Berechnung der CH_4 -Emissionen aus der Verdauung bei Sauen und wachsenden Schweinen (Aufzuchtferkel, Mastschweine) sowie Ebern

Die Berechnung der Emissionen der Sauen setzt die Kenntnis der Anzahl und des Gewichtes der aufgezogenen Ferkel voraus. Hierbei wird auf Informationen der Züchterverbände und auf Expertenwissen zurückgegriffen. Der Energie- und Futterbedarf wachsender Tiere wird durch Anfangs- und Endgewicht und Gewichtszunahme bzw. Dauer des Lebensabschnitts bestimmt. Diese Daten werden aus Veröffentlichungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, der Züchterverbände und Standardwerken der landwirtschaftlichen Planung gewonnen oder abgeleitet.

Die Zahl der in der Statistik angegebenen Ferkel wird für dieses Inventar auf Saugferkel und Aufzuchtferkel aufgeteilt. Die Saugferkel werden mit den Sauen abgebildet, die Aufzuchtferkel werden gesondert berechnet.

Die besondere Situation Deutschlands unmittelbar nach 1990 hatte zur Folge, dass eine Reihe statistischer Daten nicht erhoben wurde. So waren detaillierte Informationen zur Schweinehaltung in den Neuen Bundesländern zwischen 1990 und 1996 spärlich oder nicht vorhanden. Sie wurden in Expertengesprächen ermittelt. Nationale Daten waren schließlich durchgängig vorhanden. Sie sind der Zusammenstellung in LÜTTICH et al. (2006) zu entnehmen, die Berechnung der Tierzahlen und die Ableitung oder Anpassung der Methoden in DÄMMGEN et al. (2006).

Die Emissionen aus der Eberhaltung wurden aus dem Energiebedarf bei Annahme eines konstanten Gewichts von 120 kg Tier^{-1} berechnet.

Die für 2004 resultierenden Daten sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 4: CH_4 -Emissionsfaktoren IEF_{CH_4} aus der Haltung von Schweinen (Fermentation bei der Verdauung) (2004)

| Unterkategorie | $IEF_{\text{CH}_4} [\text{kg Platz}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CH}_4]$ |
|----------------|--|
| Sauen | 1,7 |
| Aufzuchtferkel | 0,41 |
| Mastschweine | 1,4 |
| Zuchteber | 1,5 |
| Mittelwert | 1,3 |
| IPCC-Default | 1,5 |

4.2.5 Berechnung der CH₄-Emissionen aller anderen Säugetiere (Schafe, Ziegen, Pferde, Büffel)

Für alle anderen Säugetiere wurde das Tier-1-Verfahren entsprechend angewendet:

$$E_{\text{CH}_4,i} = EF_i \cdot n_i \quad (\text{Gl. 3})$$

mit $E_{\text{CH}_4,i}$ CH₄-Emission einer Kategorie [kg a⁻¹ CH₄]
 i Tierkategorie
 EF_i Emissionsfaktor für eine Kategorie i [kg Tier⁻¹ a⁻¹ CH₄]
 n_i Anzahl der Tiere in einer Kategorie i [Tiere]

Für jede Tierart wurden die Default-Werte (Emissionsfaktoren) nach IPCC (1996b: Kap. 4) eingesetzt:

Tabelle 5: Emissionsfaktoren: Default-Werte (EF_d) nach IPCC und in diesen Bericht verwendete resultierende Emissionsfaktoren (IEF)

| Tierkategorie | EF_d nach IPCC (1996b, Kap. 4) [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄] | IEF nach Anwendung nationaler Datensätze [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄] |
|---------------|--|--|
| Schafe | 8 (Table 4-3) | |
| Ziegen | 5 (Table 4-3) | |
| Pferde | 18 (Table 4-3) | 16,4 |
| Büffel | 55 (Table 4-3) | |

Deutschland berichtet aus den zuvor diskutierten Gründen nicht die Emissionen von Eseln und Maultieren (NE).

4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.A)

4.3.1 Relevante Tierzahlen

Die Unsicherheiten der Tierzahlen pro Klasse (mit Ausnahme der Pferde) liegen in der Größenordnung von weniger als 6 % (DÄMMGEN, 2006). Für die Neuen Länder wurden die Tierzahlen und ihre regionale Verteilung für die Jahre 1990 und 1991 mit dem Modell RAUMIS (HENRICHSMeyer et al., 1996) berechnet, das regionale Daten für landwirtschaftliche Produktionsprozesse und Produkte liefert. Da die Datenquellen mit den Jahren nicht variieren, wird die Zeitreihe als im Wesentlichen konsistent betrachtet.

Im Jahr 1998 wurde das Agrarstatistikgesetz geändert. Hiermit änderten sich die Erhebungsgrundlagen für die Ermittlung der Tierzahlen zum Teil erheblich. Auswirkungen werden vor allem auf die Anzahl der Pferde und der Schafe beobachtet. Für eine einheitliche Beschreibung der Zeitreihe wurden daher Korrekturfaktoren abgeleitet. Die Ableitung der Korrekturen wird in DÄMMGEN (2006) beschrieben.

Es ist davon auszugehen, dass die Zahl der Pferde in Deutschland etwa doppelt so hoch ist wie die entsprechenden Zahlen der Agrarstatistik, da ein großer Teil der Pferde nicht in landwirtschaftlichen Betrieben gehalten wird (Freizeitpferde). Die Pferdezahlen sind somit systematisch falsch.

Bei den Schafen rührt die Versetzung in der Zeitreihe daher, dass die Zählung im Mai auch Lämmer umfasst, die Zählung im Dezember dagegen nicht.

4.3.2 Emissionsfaktoren

Die Unsicherheiten der Methan-Emissionsfaktoren liegen in der Größenordnung von 30 % (EMEP, 2000: Kapitel B1040-6). Ungenau sind hierbei der Methan-Umwandlungsfaktor (für Rinder $0,06 \pm 0,005$, d.h. 10 %, siehe IPCC, 1996b) und die tatsächliche Rationsgestaltung, insbesondere bei Rindern.

4.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.A)

Die Daten werden auf Transkriptionsfehler zwischen den Originaldaten und den Kalkulationstabellen überprüft und auf Fehler bezüglich der Einheiten und Größenordnungen untersucht. Zukünftige QK/QS-Verfahren setzen die bessere Auflösung der Aktivitätsdaten (insbesondere Daten zur Fütterung auf Kreisebene) voraus. Darüber hinaus sollen die Emissionsfaktoren, soweit sie nicht vertraulich zu behandeln sind, über die Emissionsfaktoren-Datenbank (GEREF, GERman Emission Factor Database) öffentlich zur Verfügung gestellt werden. Experten können diese somit begutachten und Stellung dazu nehmen.

Unter Verwendung der im *Data Locator* des UNFCCC-Sekretariats zur Verfügung gestellten resultierenden mittleren Emissionsfaktoren (Implied Emission Factors) benachbarter Länder zeigt sich im Vergleich, dass Deutschland im mittleren Bereich der Spannbreite liegt.

Das vorliegende Inventar gibt zu nahezu allen Aktivitätsdaten, Emissionsfaktoren oder Daten, die zur Berechnung von Emissionsfaktoren dienen, erstmals Fehler bzw. Unsicherheiten an.

Der landwirtschaftliche Teil des Emissionsinventars wurde im Jahr 2004 in einem bilateralen Überprüfung durch finnische Experten überprüft und als im Wesentlichen vollständig und den Regeln der Wissenschaft entsprechend eingestuft (LECHTENBÖHMER et al., 2005). Zum gleichen Ergebnis kam der In-Country-Review durch UNFCCC (UNFCCC, 2005). Die beanstandeten Mängel (Verwendung von Tier-1-Verfahren bei der Berechnung der Emissionen aus der Rinderhaltung; Fehlen der Berechnungen für Ziegen) wurden im vorliegenden Inventar beseitigt.

Tabelle 6: Methan-Emissionen aus der Verdauung bei Milchkühen verschiedener Länder im Vergleich des Implied Emission Factor (IEF)

| Land | IEF _{CH₄} (berechneter EF) [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄] |
|------------------------|---|
| Österreich | 103 |
| Tschechische Republik | 68 |
| Dänemark | 118 |
| Deutschland | 111,7 |
| Frankreich | 103 |
| Niederlande | 82 |
| Vereinigtes Königreich | 121 |

Quelle: CRF-Daten der einzelnen Länder für 2003

IEF: berechneter Emissionsfaktor aus Emission und Milchkuhbestand. Angaben für D für das Jahr 2004, Daten anderer Länder für 2003.

4.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (4.A)

Die vorläufigen Zahlenangaben (Tierzahlen) für 2003 wurden in den meisten Fällen durch endgültige ersetzt. Beim Geflügel wurden Datensätze für die Tierzahlen der Jahre 2000 bis 2004, die aus Modellrechnungen in RAUMIS hervorgegangen waren, durch Daten der Tierzählungen ersetzt.

Tabelle 7: Vergleich der im NIR 2005 und dem NIR 2006 verwendeten mittleren CH₄-Emissionsfaktoren aus der Tierhaltung (Fermentation bei der Verdauung), hier Milchkühe.

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|--|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 94,3 | 94,6 | 96,3 | 97,1 | 97,2 | 98,2 | 98,7 | 99,1 | 99,8 | 101,0 | 101,9 | 102,7 | 102,9 | 103,0 | |
| NIR 2006 | 94,8 | 95,7 | 99,1 | 101,6 | 101,3 | 102,3 | 103,3 | 103,3 | 104,9 | 106,6 | 108,1 | 110,1 | 109,9 | 111,6 | 111,7 |

Tabelle 8: Vergleich der im NIR 2005 und dem NIR 2006 verwendeten mittleren CH₄-Emissionsfaktoren aus der Tierhaltung (Fermentation bei der Verdauung), hier andere Rinder.

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 72,6 | 73,1 | 72,9 | 72,8 | 73,0 | 73,0 | 73,2 | 73,6 | 74,0 | 73,1 | 73,2 | 73,3 | 73,4 | 73,5 | |
| NIR 2006 | 37,5 | 37,7 | 38,1 | 38,4 | 38,5 | 38,3 | 38,1 | 38,0 | 38,2 | 38,4 | 38,8 | 39,2 | 38,9 | 38,8 | 38,5 |

Bei Milchkühen, Kälbern, Färsen und Mastbulen wurde erstmals das Tier-2-Verfahren angewendet. Ein schwerwiegender Übertragungsfehler wurde damit unwirksam. Über Zuchtbullen wurde erstmalig berichtet. Dadurch ergaben sich Änderungen der Emissionsfaktoren (vgl. Tabellen 7 und 8).

Die Berechnungen der Emissionen aus der Verdauung bei Schweinen wurden an disaggregierten Beständen nach dem Tier-2-Verfahren durchgeführt. Hierbei ergab sich die Notwendigkeit, emissionsklärende Variablen zu berücksichtigen. Es ergaben sich Änderungen des Emissionsfaktors (Tabelle 9).

Die Emissionen aus der Verdauung bei Pferden wurden unter Berücksichtigung korrigierter Pferdezahlen für Groß- und Kleinpferde getrennt ermittelt. Die resultierenden Emissionsfaktoren sind damit zeitlich und örtlich variabel geworden. Die resultierenden Emissionsfaktoren gehen aus Tabelle 10 hervor.

Hieraus ergeben sich insgesamt deutlich andere Emissionen von CH₄ aus der Fermentation bei der Verdauung für die zurückliegenden Jahre. Die Änderungen gehen aus Tabelle hervor.

4.6 Geplante Verbesserungen (quellenspezifisch) (4.A)

Die Basis für die Daten außerhalb der Offizialstatistik ist in einigen Bereichen (z.B. Rationsgestaltung) unbefriedigend. Es soll versucht werden, in Deutschland ein Verfahren zu etablieren, das die Beschaffung derartiger Daten durch Erweiterung der Agrarstatistik oder durch Befragungen gewährleistet.

Die rechtzeitige Verfügbarkeit vollständiger Daten der Offizialstatistik soll durch Einführung des Klimaberichterstattungsgesetzes verbessert werden.

Tabelle 9: Vergleich der im NIR 2005 und dem NIR 2006 verwendeten mittleren CH₄-Emissionsfaktoren aus der Tierhaltung (Fermentation bei der Verdauung), hier Schweine.

| | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| NIR 2006 | 1,19 | 1,17 | 1,19 | 1,20 | 1,22 | 1,23 | 1,24 | 1,25 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,27 | 1,27 | 1,27 |

Tabelle 10: Vergleich der im NIR 2005 und dem NIR 2006 verwendeten mittleren CH₄-Emissionsfaktoren aus der Tierhaltung (Fermentation bei der Verdauung), hier Pferde

| | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| NIR 2006 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 16,4 | 16,4 | 16,4 | 16,4 | 16,4 | 16,5 | 16,5 | 16,3 | 16,3 | 16,4 | 16,4 |

Tabelle 11: Vergleich der im NIR 2005 und dem NIR 2006 berechneten Summen der CH₄-Emissionen aus der Tierhaltung (Fermentation bei der Verdauung). Angaben für Deutschland.

| | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Tg a ⁻¹ CH ₄] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 1,63 | 1,44 | 1,38 | 1,35 | 1,36 | 1,36 | 1,35 | 1,32 | 1,30 | 1,29 | 1,26 | 1,28 | 1,23 | 1,20 | |
| NIR 2006 | 1,16 | 1,03 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,99 | 0,96 | 0,95 | 0,95 | 0,94 | 0,95 | 0,92 | 0,91 | 0,88 |

5 Wirtschaftsdünger-Management (4.B)

5.1 Beschreibung der Quellgruppe

Die Quellgruppe Wirtschaftsdünger-Management (4.B) stellt eine Hauptquellgruppe für Rinder und Schweine in Bezug auf CH₄ dar, für Milchkühe lediglich nach der Emissionshöhe, für die anderen Rinder und die Schweine nach Emissionshöhe und Trend. Die NH₃- und die NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management sind ebenfalls eine Hauptquellgruppe (EMEP, 2004). Die Emissionen aus der Haltung aller anderen Tiere und Spurengase sind dagegen von geringerer Bedeutung.

Bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern im Stall, auf befestigten Flächen außerhalb des Stalls, beim Weidegang, im Lager (im engeren Sinne) und bei der Ausbringung werden CH₄ und NMVOC sowie NH₃, N₂O, NO, und N₂ freigesetzt. Mit NMVOC können auch schwefelhaltige Verbindungen emittiert

werden. Die Emissionen sind abhängig von der Tierkategorie und den Ausscheidungen der Tiere (diese wiederum eine Funktion der Tierleistung und der Ernährung), den in bestimmten Aufenthaltsräumen (Weide, Stall, befestigte Flächen) verbrachten Zeiten, artspezifischem Verhalten sowie Stalltyp, Stroheinsatz, Lagerungstyp und -dauer, Ausbringungsart, -ort- und -zeitpunkt sowie der Einarbeitung von Wirtschaftsdüngern.

Deutschland berichtet in diesem Inventar über Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement von Rindern, Schweinen, Schafen, Ziegen, Pferden, Büffeln, Pelztieren (nur NH₃) und Geflügel, nicht jedoch über Esel und Maultiere (NE).

Die Quellgruppe 4.B „Wirtschaftsdünger-Management“ ist hierbei in die in Tabelle 2 dargestellten Kategorien unterteilt.

Bei den NMVOC-Emissionen werden die Angaben für NMVOC und NMVOC-C aufgegliedert (Tabelle 13).

Tabelle 12: CH₄-Emissionen E_{CH_4} aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management).

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Tg a ⁻¹ CH ₄] | | | | | | | | | | | | | | |
| E_{CH_4} | 0,29 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,27 | 0,26 | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,25 |

Tabelle 13: NMVOC-Emissionen E_{NMVOC} aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management), angegeben als NMVOC und NMVOC-C.

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|---------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Tg a ⁻¹ NMVOC] | | | | | | | | | | | | | | |
| E_{NMVOC} | 0,33 | 0,29 | 0,28 | 0,28 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,25 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| $E_{NMVOC-C}$ | 0,21 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |

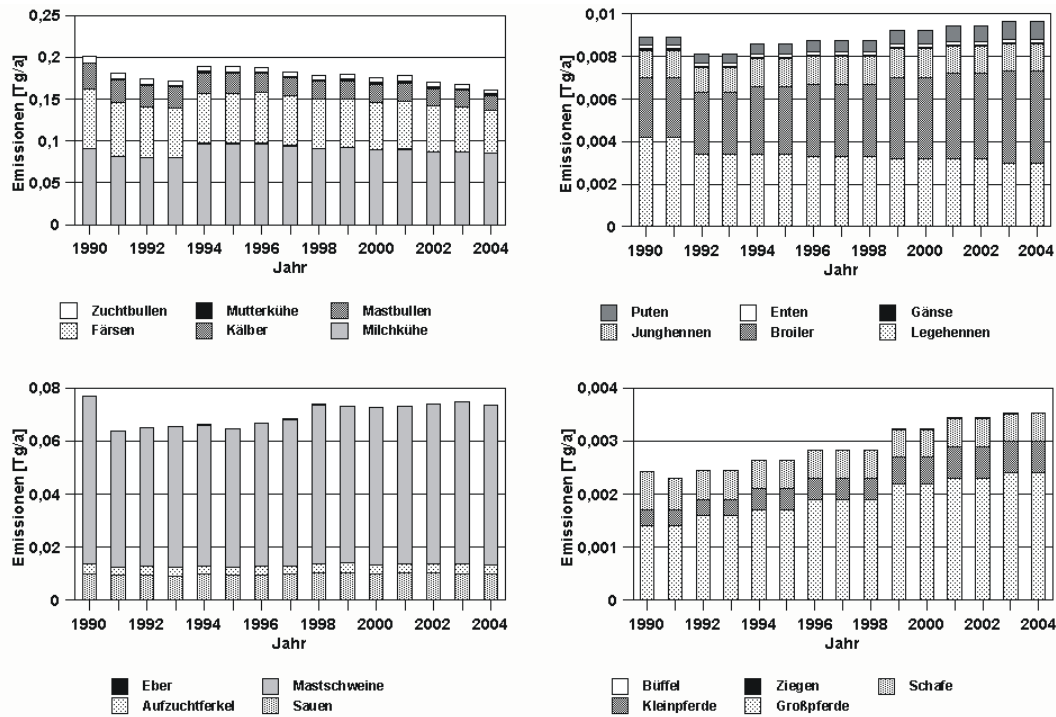


Abbildung 2: Zeitreihen der CH_4 -Emissionen E_{CH_4} der betrachteten Tierkategorien. Oben links: Rinder; unten links: Schweine; oben rechts: Geflügel; unten rechts: Pferde, Schafe, Ziegen und Büffel.

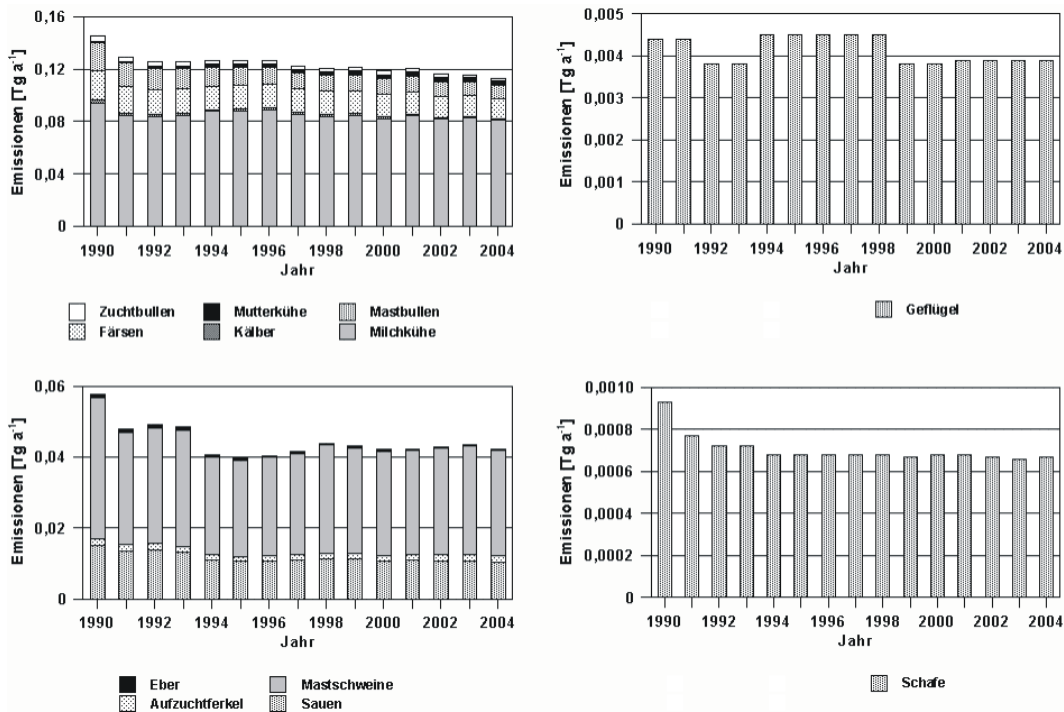


Abbildung 3: Zeitreihen der NMVOC-C-Emissionen E_{NMVOC} (Wirtschaftsdünger-Management) der betrachteten Tierkategorien (Oben links: Rinder; unten links: Schweine; oben rechts: Geflügel; unten links: Schafe).

Tabelle 14: N₂O-, NO- und NH₃-Emissionen E_{N_2O} , E_{NO} und E_{NH_3} aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management).

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | |
|------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | [Gg a ⁻¹ N ₂ O, NO bzw. NH ₃] | | | | | | | | | | | | | | | |
| E_{N_2O} | 0,013 | 0,012 | 0,011 | 0,011 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,009 | 0,010 | 0,009 | 0,010 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | |
| E_{NO} | 0,018 | 0,016 | 0,016 | 0,015 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | |
| E_{NH_3} | 0,61 | 0,54 | 0,53 | 0,52 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,49 | 0,50 | 0,49 | 0,49 | 0,48 | |

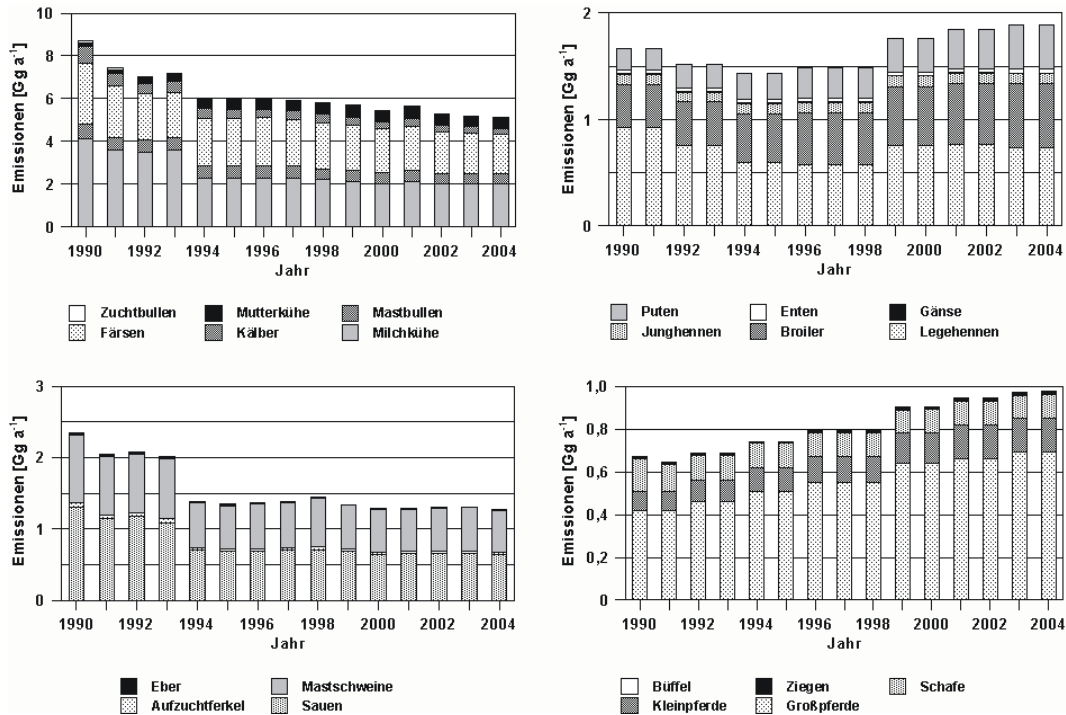


Abbildung 4: Zeitreihen der N₂O-Emissionen E_{N_2O} der betrachteten Tierkategorien (Oben links: Rinder; unten links: Schweine; oben rechts: Geflügel; unten links: Schafe).

5.2 Methodische Aspekte (4.B)

5.2.1 Methodische Aspekte und Anforderungen CRF 4.B (CH₄)

IPCC (1996b) sieht zwei Bestimmungsmethoden zur Bestimmung der CH₄-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management vor. Für die Berechnung der Emissionen nach dem Tier-1-Verfahren werden Tierzahlen mit konstanten VS-Ausscheidungen¹ und mit Default-Emissionsfaktoren multipliziert, die für einzelne Klimaregionen konstant sind.

Dieses Tier-1-Verfahren wird in seiner einfachen Form nicht angewandt.

Das Tier-2-Verfahren sieht die Berücksichtigung variabler VS-Ausscheidungen vor, die leistungs- und nahrungsabhängig sind. Es verrechnet diese mit Emissionsfaktoren, die die Häufigkeit einzelner Lagerungsverfahren für Fest- und Flüssigmist in Deutsch-

land und klimatische Effekte berücksichtigen. Die resultierenden Emissionsfaktoren variieren dann für jede Kategorie mit Ort und Zeit. Der Emissionsfaktor wird über folgende Gleichung ermittelt:

$$EF_i = VS_i \cdot \alpha \cdot B_{oi} \cdot \rho_{CH_4} \cdot \sum_{jk} MCF_{jk} \cdot MS_{ijk} \quad (Gl. 4)$$

- mit EF_i Emissionsfaktor für jede Subkategorie i [kg Tier⁻¹ a⁻¹ CH₄]
 α Zeitkonversion ($\alpha = 365 \text{ d a}^{-1}$)
 VS volatile solids (Ausscheidung leicht umsetzbarer Substanz, Trockenmasse DM) für die Subkategorie i [kg Tier⁻¹ d⁻¹ DM]
 B_{oi} Methan-Bildungspotential bezogen auf VS [m³ kg⁻¹]
 ρ_{CH_4} Dichte von Methan ($\rho_{CH_4} = 0,67 \text{ kg m}^{-3}$)
 MCF Methan-Umwandlungsfaktor für das Lagerungssystem j in einer Klimaregion k [kg kg⁻¹]
 MS Anteil der Subkategorie, deren Wirtschaftsdünger im Lagerungssystem j behandelt werden

¹ VS (volatile solids): die leicht umwandelbaren Kohlenstoff-Anteile in den Exkrementen

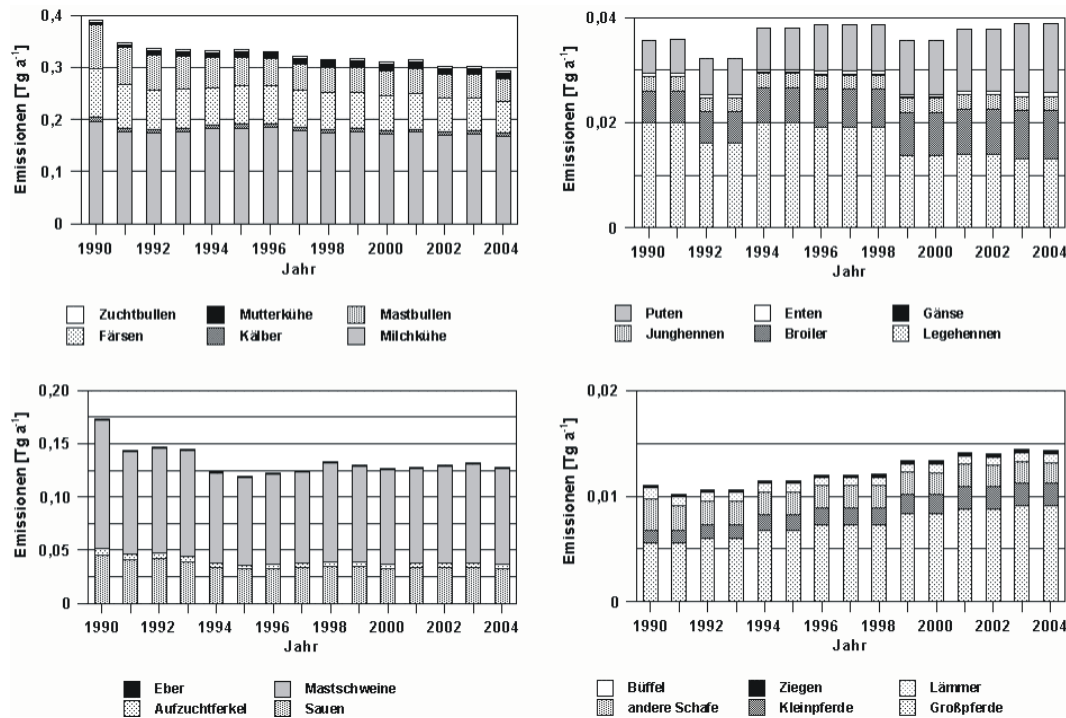


Abbildung 5: Zeitreihen der NH₃-Emissionen E_{NH_3} der betrachteten Tierkategorien (Oben links: Rinder; unten links: Schweine; oben rechts: Geflügel; unten links Schafe).

Die CH₄-Emissionen aus dem Management von Wirtschaftsdüngern wurden im deutschen Inventarbericht für Milchkühe, Rinder und Schweine als Hauptquellgruppe eingestuft. Die Berechnungen erfolgen für Landkreise (DÄMMGEN et al., 2006).

Mischverfahren zwischen Tier-1- und Tier-2-Verfahren (UNECE: verbesserte Verfahren) benutzen Default-Werte für VS-Ausscheidungen und kombinieren sie mit den Häufigkeitsverteilungen für die Wirtschafts-Managementsysteme in der jeweiligen Region. Dies trifft in Deutschland für Schafe, Ziegen, Pferde, Büffel und Geflügel zu.

5.2.2 Methodische Aspekte und Anforderungen CRF/NFR 4.B (NH₃, N₂O, NO und N₂)

Zur Berechnung der Verluste von gasförmigen N-Spezies wird seit 2004 das Massenfluss-Verfahren nach EMEP/CORINAIR angewandt (siehe hierzu DÄMMGEN et al., 2006). Es behandelt alle Flüsse von N-Spezies nacheinander und nebeneinander nach dem in Abb. 6 wiedergegebenen Schema.

Erster Schritt ist die Bestimmung der Mengen von ausgeschiedenem N und von leicht umsetzbarem TAN (total ammoniacal nitrogen). Letzteres wird im Harn der Tiere ausgeschieden. Die Aufteilung der Ausscheidungen auf Weide und Stall berücksichtigt die Weidezeiten und das Tierverhalten. Bei den Rindern werden im Stofffluss-Modell die

Dauer der Weideperiode, die mittlere Weidedauer pro Tag und die mittleren Aufenthalte im Melkstall zur Aufteilung der Exkremente auf Weide und Stall herangezogen.

Die Emissionen aller N-Spezies auf der Weide geschehen gleichzeitig. Die Berechnungen erfolgen nach IPCC (1996b) bzw. EMEP (2006).

Im Stall kommt es zu TAN-Verlusten durch Emission von NH₃. Im restlichen TAN verbleibendes N ist Quelle von Emissionen von NH₃, N₂O, NO und N₂. Das Ausmaß der Emissionen ist im Prinzip eine Funktion der Lagerungsart und der Temperatur.

Die Gesamtemissionen an N₂O werden gemäß IPCC (2000) nach folgender Gleichung bestimmt:

$$E_{\text{N}_2\text{O}-\text{N}} = \sum_{i,j} n_i \cdot m_{\text{ex},i} \cdot x_{i,j} \cdot EF_j \quad (\text{Gl. 5})$$

- mit $E_{\text{N}_2\text{O}-\text{N}}$ N₂O-N-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management
 n_i Anzahl der Tiere einer Kategorie i
 $m_{\text{ex},i}$ mittlere jährliche N-Ausscheidungen einer Kategorie i
 $x_{i,j}$ Anteil der jährlichen Ausscheidungen einer Kategorie i , die einem bestimmten Wirtschaftsdünger-Management-System j unterliegt
 EF_j N₂O Emissionsfaktor für das Wirtschaftsdünger-Management-System j

Der bei IPCC (1996b) genannte N₂O-Emissionsfaktor bezieht sich auf die ausgeschiedene

bzw. im Lager befindliche N-Menge. Mangels besserer Beziehungen wird die N_2O -Emission auch hier auf diese Menge bezogen, jedoch von der verbleibenden TAN-Menge subtrahiert. Entsprechend wird mit NO und N_2 verfahren. Während der Lagerung wird ein Teil des organisch gebundenen N (Gesamt-N \rightarrow TAN) mineralisiert.

Die Verluste bei der Ausbringung werden lediglich für NH_3 berechnet. Sie beziehen sich auf die TAN-Menge, die nach der Lagerung im Wirtschaftsdünger verfügbar ist. Die entsprechenden partiellen Emissionsfaktoren werden EMEP (2002) entnommen.

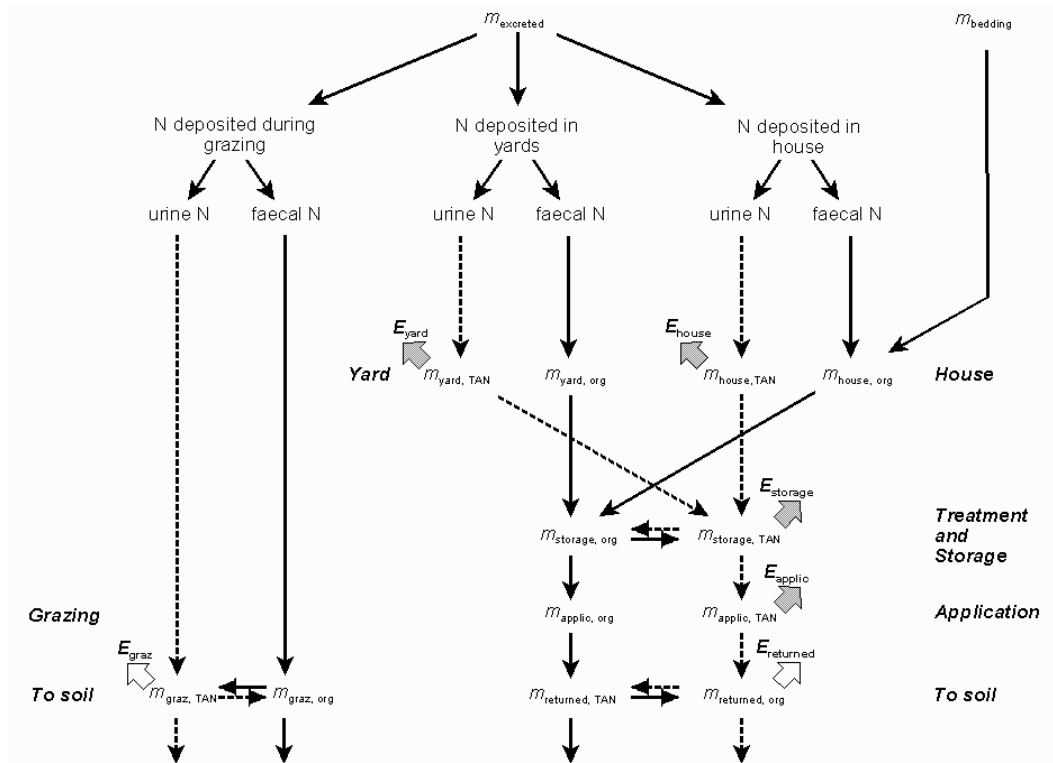


Abbildung 6: Stickstoff-Flüsse im Wirtschaftsdünger-Management einer Kategorie. Durchgezogene Linien: organisch gebundenes N; gestrichelt: TAN; horizontale Flüsse versinnbildlichen Immobilisierung und Mineralisierung; breite Pfeile beschreiben Emissionen: E_{yard} : NH_3 -Emissionen von befestigten Flächen einschließlich Melkstall; E_{house} : NH_3 -Emissionen aus dem Stall; E_{storage} : NH_3 -, N_2O -, NO - und N_2 -Emissionen aus dem Lager; E_{applic} : NH_3 -Emissionen während und nach der Ausbringung; E_{graz} : NH_3 -, N_2O -, NO - und N_2 -Emissionen während des und nach dem Weidegang; E_{returned} : N_2O -, NO - und N_2 -Emissionen aus dem Boden (zu Einzelheiten siehe DÄMMGEN et al., 2006)

Gemäß IPCC (2000) sind die Parameter der o.a. Formel durch statistische Erhebungen und Messungen zu ermitteln. Dabei sind Randbedingungen wie wirksame Oberfläche, Belüftungssituation und Temperatur bei der Wirtschaftsdüngerlagerung zu berücksichtigen. Die gesamte Erhebung, Überprüfung der Daten und Dokumentation ist entsprechend aufwändig. Deutschland verfügt nicht über entsprechende Datensätze. In IPCC (2000) befinden sich jedoch auch Default-Werte für Emissionsfaktoren (Tabellen 4-12 und 4-13).

Die Emissionsfaktoren (Gülle-basierte Systeme: $EF_{N_2O} = EF_{NO} = 0,001 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$, $EF_{N_2} = 0,007 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$; strohbasierte Systeme: $EF_{N_2O} = EF_{NO} = 0,02 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$, $EF_{N_2} = 0,14 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$) wurden IPCC entnommen bzw. davon abgeleitet (IPCC 1996b: Tabelle 4-22). Die bei der Bildung von N_2O gleichzeitig entstehenden Mengen von N_2 wurden im Hinblick auf die Berechnung von indirekten Emissionen nach Literaturdaten geschätzt.

Alle in Deutschland üblichen Stallkategorien werden berücksichtigt. Über die Häufigkeitsverteilungen wird bei LÜTTICH et al., (2006) informiert.

Die Angaben werden für jeden Landkreis mit Hilfe des Agrarsektormodells RAUMIS (HEINRICHSMeyer et al., 1996) ermittelt. Im Prinzip resultiert für jede Tierkategorie und jeden Kreis in jedem Jahr ein anderer Emissionsfaktor (DÄMMGEN et al., 2006).

Nach der Hauptquellgruppenanalyse gehören die N_2O -Emissionen der Kategorie 4.B nicht zu den Hauptquellgruppen. Aus diesem Grunde kann eine einfache Methode (Tier-1-Ansatz) für die Berechnung herangezogen werden. Dabei wird mit nationalen Daten für die N-Ausscheidung gearbeitet.

5.2.3 Relevante Tierzahlen

Im Regelfall werden die Emissionen N-haltiger Verbindungen einer Tierkategorie mit den Tierzahlen der Gesamtpopulation berechnet. Bei den *Rindern* erfolgt eine Aufteilung in Milchkühe, Kälber, Mastbullen, Färsen, Mutterkühe und Zuchtbullen. Bei den *Schweinen* werden Sauen, Aufzuchtferkel, Mastschweine und Eber getrennt behandelt. Die Emissionsfaktoren für Sauen schließen die Emissionen der Saugferkel ein. Bei Rindern und Schweinen müssen die Tierzahlen der Offizialstatistik so umgerechnet werden, dass sie den Anforderungen des Massenfluss-Verfahrens hinsichtlich homogener Populationen genügen.

Bei den *Schafen* werden die Emissionen der N-Spezies aus den wegen Änderung des Agrarstatistikgesetzes korrigierten Angaben für die Lämmer und die sonstigen Schafe berechnet. Die Emissionen von CH_4 dagegen werden aus den Zahlen der Gesamtpopulation der Schafe bestimmt (vgl. DÄMMGEN, 2006).

Die Zahlen für Pferde werden nur teilweise durch die amtlichen Tierzählungen erfasst. Die Tierzählungsdaten werden außerdem korrigiert, um die Einflüsse der Änderung des Agrarstatistikgesetzes zu kompensieren (vgl. DÄMMGEN, 2006).

5.2.4 Ausscheidungen

C-Spezies:

Die Berechnung der Ausscheidungen von „volatile solids“ basiert bei Rindern und Schweinen auf Tier-2-Rechnungen der Emissionen bei der Verdauung. Für alle übrigen Tiere wurden die Default-Werte nach IPCC (1996b: Tabellen B-1 und B-7) übernommen:

| | | |
|----------|------|---|
| Schafe | 0,40 | kg Tier ⁻¹ d ⁻¹ C |
| Ziegen | 0,40 | kg Tier ⁻¹ d ⁻¹ C |
| Pferde | 1,72 | kg Tier ⁻¹ d ⁻¹ C |
| Geflügel | 0,10 | kg Tier ⁻¹ d ⁻¹ C |
| Büffel | 2,7 | kg Tier ⁻¹ d ⁻¹ C |

Die Berechnung der NMVOC-Emissionen wird über die berechnete Menge an NH_3 -Emissionen ermittelt, da die beiden Stoffgruppen über den Mechanismus der Bildung miteinander verknüpft sind.

N-Spezies:

Für Milchkühe werden die N-Ausscheidungen in Abhängigkeit von der Milchleistung, des Milcheiweiß-Gehaltes, des Gewichtes, der Zahl der Geburten pro Jahr und der Zusammensetzung des Raufutters berechnet. Die ausführliche Beschreibung findet sich in DÄMMGEN et al. (2006), die Bewertung des Verfahrens in DÄMMGEN und LÜTTICH (2006). Dieses Rechenverfahren liefert auch die TAN-Ausscheidungen.

Für Schweine werden die N-Ausscheidungen aus der Tierleistung (bei Sauen: Zahl der Ferkel pro Jahr, bei Aufzuchtferkeln und Mastschweinen der Gewichtszunahme) sowie den Gewichten und der Futterzusammensetzung ermittelt. Bei Ebern lagen Daten zur Ernährung zugrunde.

Für alle anderen Tiere wurden die Angaben zu den N-Ausscheidungen der deutschen Literatur entnommen (DÄMMGEN et al., 2006). Im Einzelnen wurden verwendet:

| | |
|----------------------------|---|
| männliche Mastrinder | 42 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| weibliche Mastrinder | 44 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| Kälber | 16 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| Mutterkühe | 96 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| Schafe | 13 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| Pferde | 64 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| Legehennen | 0,74 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N] |
| phasengefüttert | 0,71 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| Masthühnchen und -hähnchen | 0,29 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| Junghennen | 0,28 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| Gänse | 0,73 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| Enten | 0,60 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| Puten | 1,50 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| phasengefüttert | 1,41 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |
| Büffel | 70 kg Tier ⁻¹ a ⁻¹ N |

Bei Tieren mit Lebensdauern < 1 a wurden die Zahlen für Tierplätze bei durchschnittlicher Umtriebszeit berechnet.

Der Anteil an leicht umsetzbarem Stickstoff (total ammoniacal N: TAN) am Gesamt-Stickstoff wurde wie folgt angesetzt:

| | |
|-------------------------|----------------------------|
| Milchkühe | variabel |
| Rinder außer Milchkühen | 0,60 kg kg ⁻¹ N |
| Schweine | 0,70 kg kg ⁻¹ N |
| Schafe | 0,40 kg kg ⁻¹ N |
| Pferde | 0,40 kg kg ⁻¹ N |
| Geflügel | 0,70 kg kg ⁻¹ N |
| Büffel | 0,50 kg kg ⁻¹ N |

5.2.5 Weidegang, Stalltyp und Aufstallungsdauer

Bei den Rindern wird die Dauer der Weideperiode, die mittlere Weidedauer pro Tag und die mittleren Aufenthalte im Melkstall zur Aufteilung der Exkrememente auf Weide und Stall herangezogen.

Alle in Deutschland üblichen Stallkategorien werden berücksichtigt (LÜTTICH et al., 2006) Die Daten sind in den CRF-Berichtstabellen 4.B(a) und 4.B(b) (Additional Information) zusammengestellt.

5.2.6 Gülle- und Mist-Aufbereitung

Zwischen aufbereiteten und unaufbereiteten Düngern müsste unterschieden werden (z.B. Gülle-Separation, Biogas-Gewinnung, Festmist-Kompostierung). Fehlende Hintergrundinformationen über die Aufbereitung von Düngern (Häufigkeitsverteilungen) oder fehlende Rechenverfahren (Festmist-Kompostierung) lassen vorläufig keine entsprechenden Berechnungen zu.

5.2.7 Lagerung

Zwischen festen und flüssigen Wirtschaftsdüngern wird unterschieden. Die in Deutschland gängigen Lagerungsverfahren werden berücksichtigt. Tägliche Ausbringung ist in Deutschland unüblich; offene Lagunen werden nicht benutzt. In der CRF-Tabelle 4.B(b) werden die Häufigkeitsverteilungen der Lagerungsformen angegeben.

5.2.8 Ausbringung

Die Art der Ausbringung und der Zeitpunkt der nachfolgenden Einarbeitung ist für die Berechnung der NH_3 -Emissionen und die Bestimmung der dem Boden mit Wirtschaftsdüngern zugefügten N-Mengen wichtig. Unterschieden werden für Gülle Breitverteilung, Schleppschläuche und Schleppschuhe, für Mist nur Breitverteilung. Ackerland (brach und mit Vegetation) und Grünland werden unterschieden. Einarbeitungszeiten werden gestuft (< 1 h, < 4 h, < 6 h, < 12 h, < 24 h, ohne Einarbeitung) berücksichtigt.

5.3 Emissionen

5.3.1 Methan-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (4.B)

In Tabelle 12 ist die Zeitreihe der CH_4 -Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management zusammengestellt. Sie lässt einen Rückgang der Emissionen erkennen, der im Wesentlichen auf die Jahre nach der deutschen Vereinigung beschränkt ist und hierbei hauptsächlich auf die Verringerung der Tierbestände zurückzuführen ist (Abb. 2). Zur Gesamt-

emission tragen die Rinder zu zwei Dritteln (63 % für 1990; 65 % für 2004) und die Schweine mit einem Drittel (36 % für 1990; 30 % für 2004) bei. Die Emissionen aus der Geflügelhaltung und aus der Haltung von Pferden, Schafen, Ziegen, Büffeln und Geflügel sind demgegenüber vernachlässigbar (vergleiche Abb. 5).

5.3.2 Emissionen von flüchtigen Kohlenwasserstoffen ohne Methan aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Bei der mikrobiellen Umsetzung von Proteinen im Wirtschaftsdünger (etwa 50 % des in den Ausscheidungen enthaltenen Stickstoffs sind in Proteinen gebunden) entstehen gleichzeitig Ammoniak (NH_3) und flüchtige organische Verbindungen (NMVOC). Die weitgehende Proportionalität der Emissionen von NH_3 - und NMVOC-Emissionen aus unterschiedlichen Wirtschaftsdüngern wurde in Großbritannien dazu benutzt, ein erstes NMVOC-Emissionsinventar zu erstellen. Deutschland hat die dort angesetzten relativen Emissionsfaktoren dazu benutzt, eine erste Schätzung der Emissionen von NMVOC aus der Tierhaltung vorzunehmen (Einzelheiten in DÄMMGEN et al., 2006). Die Zeitreihe der NMVOC-Emissionen ist in Tabelle 13 und die Zusammensetzung der Emittenten in Abbildung 3 dargestellt. Nach dem Rückgang der Tierzahlen als Folge der deutschen Vereinigung bleiben die Emissionen ab etwa 1994 konstant. Obschon Zahlen für Pferde wegen des fehlenden Rechenverfahrens nicht verfügbar sind, können die Emissionen im Wesentlichen auf die Rinderhaltung zurückgeführt werden.

Bei der Modellierung der NMVOC-Emissionen wurde gleichfalls festgestellt, dass erhebliche Mengen an Dimethylsulfid emittiert werden. Die Emissionen an in NMVOC gebundenem Schwefel belaufen sich diesen Schätzungen zufolge auf etwa 0,03 bis 0,04 Tg a^{-1} . Weitere Ausführungen zur möglichen Bedeutung dieser Emissionen für SO_2 -Konzentrationen und -Flüsse, für die Versauerung von Ökosystemen und für die Entstehung von Kohlenstoffoxidsulfid (COS) sind in DÄMMGEN und KESSELMEIER (2006) beschrieben.

5.3.3 Distickstoffoxid-, Stickstoffmonoxid- und Ammoniak-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Die Ergebnisse der Berechnungen der NH_3 -, N_2O - und NO -Emissionen sind in der Tabelle 14 sowie bezogen auf die Emittenten in Abbildung 4 und Abbildung 5 zusammengestellt. Da N_2O - und NO -Emissionen proportional sind, wurde auf eine entsprechende Darstellung der NO -Emissionen verzichtet. Bezogen auf das Basisjahr nehmen die N_2O - und NO -Emissionen deutlich ab. Den Haupt-

anteil der N_2O - und NO -Emissionen bestimmen die Rinder (66 % im Jahr 1990; zurückgegangen auf 55 % im Jahr 2004). Bezogen auf das Jahr 1990 werden 62 % der NH_3 -Emissionen von Rindern, 30 % aus der Schweinehaltung und 6 % aus der Geflügelhaltung emittiert. 67 % der (direkten) N_2O - und NO -Emissionen gehen auf Rinderhaltung zurück, 17 % auf die von Schweinen und 10 % auf die von Geflügel. Im Jahr 2004 lagen die Anteile bei NH_3 bei 61 %, 27 % und 10 %. Für N_2O bzw. NO betragen die Anteile im Jahr 2004 55 %, 14 % und 21 %.

5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.B)

Die Unsicherheiten aus dem EMEP/CORINAIR-Handbuch (EMEP, 2003) gelten bis auf weiteres auch für Deutschland, d.h. etwa 6 % für die Tierzahlen (siehe auch DÄMMGEN, 2006) und 30 % für die Emissionsfaktoren von CH_4 und NH_3 . Für die anderen Emissionsfaktoren sind die Fehler nicht bekannt. Für N_2O , NO und N_2 ist die Größenordnung wahrscheinlich zutreffend.

Die Zeitreihe der Officialstatistik ist hinsichtlich der Tierzahlen, bedingt durch die Änderung des Agrarstatistikgesetzes, inkonsistent, d.h. zwischen 1998 und 1999 tritt ein Bruch auf. Dies betrifft insbesondere Schafe und Pferde. Für beide Kategorien wurde ein Korrekturverfahren entwickelt und angewandt. Die systematischen Fehler bei den Pferdezahlen beruhen darauf, dass bei landwirtschaftlichen Zählungen nur ein Teil der Pferde erfasst wird und die sog. Freizeitpferde nicht in landwirtschaftlichen Betrieben gehalten werden. Bei den Schafen rührt die Versetzung in der Zeitreihe daher, dass die Zählung im Mai auch Lämmer umfasst, die Zählung im Dezember dagegen nicht.

Die Zahlen zum Wirtschaftsdünger-Management sind aufgrund einer Datenbasis modelliert, die als unzureichend angesehen wird (Übertragung von Befragungsdaten in Modellkreisen auf weitere Kreise, vergleiche UBA, 2002a). Informationen über Unsicherheiten können nur grobenordnungsmäßig angegeben werden.

5.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.B)

Die Daten werden auf Transkriptionsfehler zwischen den Originaldaten und den Kalkulationstabellen überprüft und auf Fehler bezüglich der Einheiten und Größenordnungen untersucht. Zukünftige QK/QS-Verfahren setzen die weitere Entwicklung der Methoden und die bessere Auflösung der Aktivitätsdaten voraus. Darüber hinaus ist eine bessere Datenlage zur Beschreibung des Wirtschaftsdünger-Managements notwendig.

Hierzu zählen insbesondere die Erfassung von Parametern zur Fütterung, Leistung (Schlachtgewicht, Mastdauer, etc.), Haltung (Weidegang, Stallform), Lagerungsform, Ausbringungspraktiken, etc. Sie müssen durch Befragungen erhalten werden.

Das vorliegende Inventar gibt zu nahezu allen Aktivitätsdaten, Emissionsfaktoren oder Daten, die zur Berechnung von Emissionsfaktoren dienen, erstmals Fehler bzw. Unsicherheiten an. Aus den Einzelfehlern in den Termen einer komplexen Emissionsfunktion müssten mit einer Fehlerfortpflanzungsrechnung Gesamtfehler berechnet werden. Dies soll zukünftig geschehen.

Der landwirtschaftliche Teil des Emissionsinventars wurde im Jahr 2004 in einem bilateralen Überprüfung durch finnische Experten überprüft und als im wesentlichen vollständig und den Regeln der Wissenschaft entsprechend eingestuft (LECHTENBÖHMER et al., 2005). Zum gleichen Ergebnis kam der In-Country-Review durch UNFCCC (UNFCCC, 2005). Die beanstandeten Mängel (Verwendung von Tier-1-Verfahren bei der Berechnung der Emissionen aus der Rinder- und der Schweinehaltung; Fehlen der Berechnungen für Ziegen) wurden im vorliegenden Inventar beseitigt. Das Massenfluss-Verfahren wurde innerhalb der Expertengruppe EAGER überprüft und die in Europa erhaltenen Ergebnisse miteinander verglichen. Die zusammenfassende Darstellung für Rinder findet sich in REIDY et al. (2006).

5.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (4.B)

5.5.1 Quellenspezifische Rückrechnungen (CH_4)

Bei Geflügel wurden die Tierzahlen für die Jahre 1990 bis 1993, denen bisher Modellrechnungen aus RAUMIS zugrunde lagen, durch Werte aus Tierzählungen ersetzt.

Die Berechnung der CH_4 -Emissionen für das Wirtschaftsdünger-Management bei Rindern und Schweinen benutzte erstmals Ergebnisse, die sich aus der Anwendung des Tier-2-Verfahrens für die Berechnung der Emissionen aus der Verdauung ergaben. Bei Schafen und Pferden wurden die Zeitreihen der Tierzahlen korrigiert. Der wesentliche Unterschied beruht allerdings auf der Verwendung der MCF für Gülle aus IPCC (1996b) (10 %) anstelle des Wertes aus IPCC (2000), in dem 39 % angegeben waren. Eine ausführliche Begründung dieses Vorgehens findet sich in DÄMMGEN et al. (2006).

5.5.2 Quellenspezifische Rückrechnungen (NMVOC)

NMVOC-Emissionen werden unter Verwendung der jeweiligen NH_3 -Emissionen für eine Tierart berechnet. Da hier Änderungen auftraten (siehe

nachfolgendes Kapitel), mussten auch die NMVOC-Emissionen neu berechnet werden.

Die Unterschiede sind in der folgenden Tabelle erkennbar.

Tabelle 15: Vergleich der im NIR 2005 angegebenen CH₄-Emissionen E_{CH_4} aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management).

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Tg a ⁻¹ CH ₄] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 1,29 | 1,12 | 1,09 | 1,07 | 1,16 | 1,13 | 1,14 | 1,18 | 1,13 | 1,14 | 1,11 | 1,12 | 1,10 | 1,10 | |
| NIR 2006 | 0,29 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,27 | 0,26 | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,25 |

Tabelle 16: Vergleich der im NIR 2005 angegebenen NMVOC-Emissionen E_{NMVOC} aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management).

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Tg a ⁻¹ C] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 0,30 | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | |
| NIR 2006 | 0,21 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |

5.5.3 Quellspezifische Rückrechnungen (NH₃, N₂O, NO, N₂)

Sowohl bei den Milchkühen, Mastbullen und Schweinen wurde die Berechnung der N-Ausscheidung auf eine neue Grundlage gestellt. Dadurch wurden Rückrechnungen für die Emissionen aller N-Spezies aus der Tierhaltung erforderlich.

Im Einzelnen wurden folgende Änderungen vorgenommen:

1. Einige Transkriptionsfehler wurden beseitigt.
2. Die TAN-Gehalte in den Ausscheidungen von Milchkühen werden nunmehr als Funktion der Fütterung und Leistung berechnet, bei allen anderen Rindern wird im Einklang mit anderen Inventaren in Nordwesteuropa 0,60 kg kg⁻¹ N angesetzt.
3. Als TAN-Gehalte der Schweine werden in diesem Inventar die international üblichen und für Deutschland gerechtfertigten Werte von 0,70 kg kg⁻¹ N verwendet. Bei Mastschweinen und Aufzuchtferkeln werden die N-Ausscheidungen nunmehr als Funktion von Leistung und Fütterung berechnet. Bei Sauen berücksichtigt die N-Ausscheidung im Gegensatz zu früheren Inventaren Saugferkel bis zu 8,5 kg Tier⁻¹. Eber werden getrennt erfasst. Als Ergebnis der leistungsabhängigen Betrachtung der Schweineausscheidungen wurden die Emissionsfaktoren für Aufzuchtferkel und Mastschweine im

Stall auf 0,30 kg kg⁻¹ N für Spaltenböden mit Gülle und auf 0,35 kg kg⁻¹ N für entsprechende eingestreute Systeme gesenkt. Dagegen wurden die Verluste aus Güllelagern ohne Abdeckung in Abstimmung mit den Inventaren anderer nordwesteuropäischer Inventare mit 15 % TAN angenommen. Die Mengen der Strohgaben in eingestreuten Systemen wurden zum Teil korrigiert.

4. In allen strohgebundenen Systemen wurde aufgrund neuer Erkenntnisse die Mineralisierung von Stroh-N sowie die Immobilisierung von TAN bei ausreichender Einstreu berücksichtigt. Die verbesserte Datenlage führte zu einer Verringerung des Verhältnisses von N₂ zu N₂O-N bei Emissionen aus Wirtschaftsdüngern bei der Lagerung.
5. Die Stickstoff-Ausscheidungen der Masthähnchen und -hühnchen sowie der Puten wurden dem Stand des Wissens angepasst (Masthähnchen und -hühnchen: 0,41 statt 0,29 kg Platz⁻¹ a⁻¹ N; Puten: 2,07 statt 1,5 kg Platz⁻¹ a⁻¹ N).

Deutschland berichtet erstmals Emissionen aus der Ziegen- und Büffelhaltung und berücksichtigt die Emissionen aus importierten Wirtschaftsdüngern.

Die NH₃-Emissionen und die NO-Emissionen ändern sich danach, wie aus den folgenden Tabellen hervorgeht:

Tabelle 17: Vergleich der im NIR 2005 und NIR 2006 angegebenen N_2O -Emissionen E_{N_2O} aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management). Angaben für Deutschland.

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Gg a ⁻¹ N ₂ O] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 134,4 | 12,8 | 12,5 | 12,4 | 10,1 | 10,1 | 10,2 | 10,1 | 10,0 | 9,8 | 9,7 | 9,8 | 9,6 | 9,4 | |
| NIR 2006 | 13,3 | 11,8 | 11,4 | 11,3 | 9,5 | 9,5 | 9,6 | 9,5 | 9,5 | 9,6 | 9,5 | 9,6 | 9,4 | 9,4 | 9,2 |

Tabelle 18: Vergleich der im NIR 2005 und NIR 2006 angegebenen NO -Emissionen E_{NO} aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management). Angaben für Deutschland.

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Gg a ⁻¹ NO] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 19,7 | 17,4 | 17,0 | 16,8 | 13,8 | 13,8 | 14,0 | 13,8 | 13,7 | 13,4 | 13,2 | 13,3 | 13,1 | 12,9 | |
| NIR 2006 | 18,2 | 16,0 | 15,5 | 15,4 | 13,0 | 13,0 | 13,2 | 13,0 | 12,9 | 13,1 | 12,9 | 13,1 | 12,8 | 12,8 | 12,5 |

Tabelle 19: Vergleich der im NIR 2005 und NIR 2006 angegebenen NH_3 -Emissionen E_{NH_3} aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management). Angaben für Deutschland.

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Tg a ⁻¹ NH ₃] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 0,58 | 0,51 | 0,50 | 0,50 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,46 | 0,45 | 0,46 | 0,45 | 0,45 | |
| NIR 2006 | 0,61 | 0,54 | 0,53 | 0,52 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,49 | 0,50 | 0,49 | 0,49 | 0,48 |

5.6 Geplante Verbesserungen (quellenspezifisch) (4.B)

Die Aktualisierung der Datenbasis unterhalb der Officialstatistik setzt die Verwendbarkeit der Daten der Bodennutzungshaupterhebung im Jahr 2003 voraus, die für das hier vorgelegte Inventar nicht zur Verfügung gestellt wurden. Sie muss darüber hinaus auf Befragungsdaten zurückgreifen können, die dringend erhoben werden müssen. Die im vergangenen Jahr erhobenen Daten sind noch unvollständig und bedürfen zu ihrer Interpretation der Erkenntnisse der Bodennutzungshaupterhebung.

Die Methodik des Massenfluss-Modells und seine Parameter werden in internationaler Zusammenarbeit überprüft, erweitert und harmonisiert.

6 Reisanbau (4.C)

In Deutschland wird kein Reis angebaut (NO).

7 Landwirtschaftliche Böden (4.D)

7.1 Beschreibung der Quellgruppe

Die Quellgruppe Landwirtschaftliche Böden umfasst die direkten und indirekten Emissionen von Stickstoff-Spezies (N_2O und NO) sowie die CH_4 -Konsumption von landwirtschaftlichen Böden.

Der Quellgruppe 4.D Landwirtschaftliche Böden sind im ZSE Kulturen mit und ohne Düngeranwendung zugeordnet.

Die Quellgruppe Landwirtschaftliche Böden (4.D) ist hinsichtlich N_2O für direkte Emissionen nach Emissionshöhe und Trend und für indirekte Emissionen nach der Emissionshöhe eine Hauptquellgruppe.

EMEP (2004) stuft landwirtschaftliche Böden als Hauptquellgruppe für NH_3 ein.

Mikrobielle Umsetzungen (Nitrifikation und Denitrifikation) von Stickstoff-Verbindungen führen zu Lachgas-Emissionen. Je mehr Stickstoff in Böden gelangt, desto höher kann der Umsatz der Nitrifikation und Denitrifikation werden. Daher ist die Höhe des N-Eintrags eine wichtige Größe bei der Ermittlung der Emissionen von N-Spezies. Das Ausmaß der Umsätze ist allerdings von einer Reihe anderer Bodenparameter abhängig (wassergefüllter Porenraum, Temperatur, C-Gehalte), die in der IPCC-Methodik unberücksichtigt bleiben. Das verbesserte EMEP-Verfahren (EMEP, 2003) setzt die Verfügbarkeit detaillierter Bodendaten voraus, die zurzeit nicht vorliegen.

Als direkte N-Einträge gelten die Anwendung von Mineral- und Wirtschaftsdüngern, die Klärschlamm-aufbringung, der Leguminosenanbau, die Einarbeitung von Pflanzenrückständen in den Boden, der Eintrag von Tierexkrementen bei der Weidehaltung sowie die N-Mineralisierung bei der Bewirtschaftung von organischen Böden.

Das Inventar gibt Auskunft über direkte N_2O -, NO - und NH_3 -Emissionen aus diesen Quellen, sofern Methoden beschrieben sind.

Indirekte N_2O -Emissionen aus der Landwirtschaft stammen aus Auswaschung und Oberflächenabfluss

von gedüngten Flächen (einschließlich der Anwendung von Klärschlämmen) und aus atmosphärischer Deposition von NH_3 und NO_x aus landwirtschaftlichen Quellen.

Pflanzenbestände sind im Prinzip immer auch Quellen von flüchtigen organischen Verbindungen. Eine erste Schätzung entsprechender Emissionen für wichtige Fruchtarten wurde vorgenommen.

Landwirtschaftliche Böden sind Senken für atmosphärisches Methan, das von methanotrophen Bakterien oxidiert wird.

Die Ergebnisse der Rechnungen sind in Tabelle und in Abbildung 8 dargestellt. Danach nehmen die Emissionen von 1990 auf 2003 ab.

2004 kann ein Anteil von etwa 30 % der N_2O -Emissionen aus Böden dem Einsatz von Mineraldüngern im Boden zugeordnet werden, etwa 25 % den indirekten Emissionen als Folge der Auswaschung, je etwa 15 % der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und den bewirtschafteten organischen Böden. Der Rest setzt sich aus Weidegang, Leguminosen, Ernterückständen und den indirekten Emissionen als Folge der Deposition reaktiver N-Spezies zusammen.

Auch bei den NH_3 -Emissionen ist der aus der Anwendung von Mineraldüngern resultierende Anteil die bestimmende Größe: Er liegt bei 80 % im Jahr 1990 und 89 % im Jahr 2004 (vorläufiger Wert).

Tabelle 20: N_2O -, NO - und NH_3 -Emissionen $E_{\text{N}_2\text{O}}$, E_{NO} und E_{NH_3} aus landwirtschaftlich genutzten Böden.

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|--------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Gg a ⁻¹ N ₂ O], [Gg a ⁻¹ NO] bzw. [Gg a ⁻¹ NH ₃] | | | | | | | | | | | | | | |
| $E_{\text{N}_2\text{O}}$ | 143 | 131 | 128 | 124 | 117 | 123 | 122 | 122 | 123 | 126 | 129 | 125 | 122 | 122 | 123 |
| E_{NO} | 64 | 58 | 56 | 54 | 51 | 54 | 53 | 53 | 54 | 56 | 57 | 55 | 53 | 53 | 53 |
| E_{NH_3} | 115 | 105 | 99 | 103 | 93 | 104 | 104 | 106 | 109 | 117 | 121 | 125 | 124 | 123 | 128 |

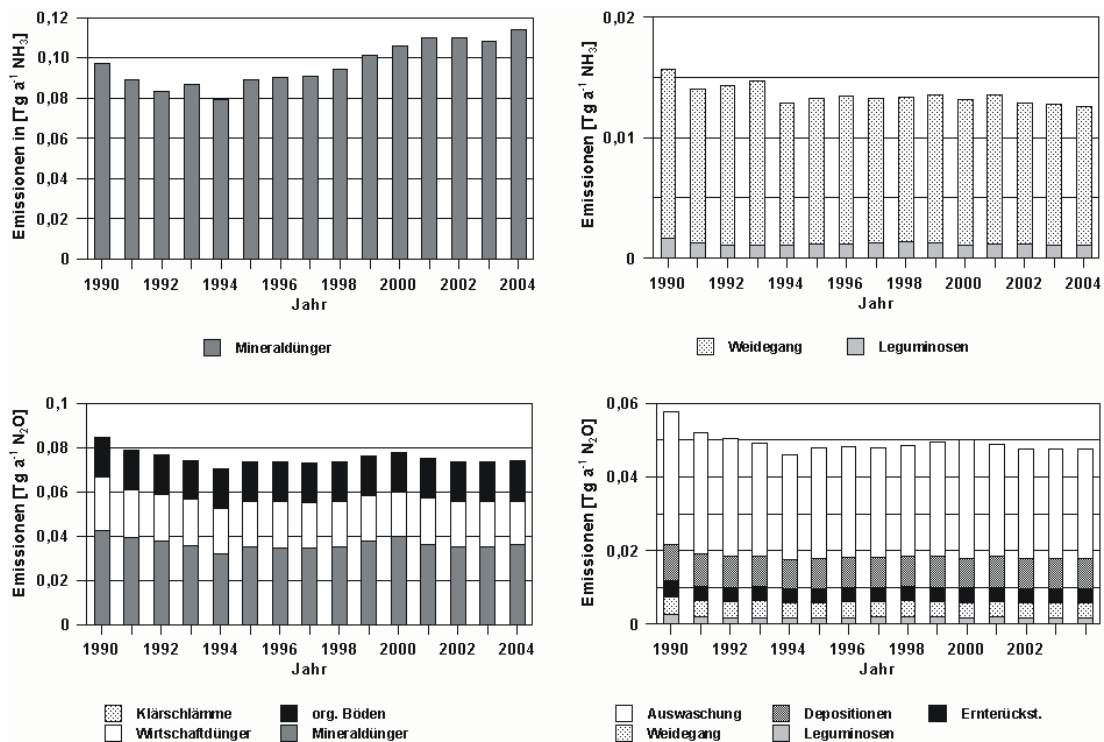


Abbildung 7: Zeitreihen der NH_3 - und N_2O -Emissionen aus gedüngten und ungedüngten Böden. NH_3 -Emissionen E_{NH_3} aus Böden (oben) N_2O -Emissionen $E_{\text{N}_2\text{O}}$ aus Böden (unten). Mit N gedüngte Systeme jeweils links, ungedüngte jeweils rechts.

Tabelle 21: NMVOC-Emissionen E_{NMVOC} aus landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen.

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|--------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | [Gg a ⁻¹ NMVOC-C] | | | | | | | | | | | | | | |
| E_{NMVOC} | 0,086 | 0,110 | 0,108 | 0,108 | 0,108 | 0,109 | 0,098 | 0,105 | 0,113 | 0,125 | 0,120 | 0,124 | 0,135 | 0,130 | 0,135 |

Tabelle 22: CH₄-Konsumption E_{CH_4} landwirtschaftlicher Böden.

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | [Gg a ⁻¹ CH ₄] | | | | | | | | | | | | | | |
| E_{CH_4} | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 |

7.2 Methodische Aspekte und Anforderungen (4.D)

7.2.1 Lachgas-Emissionen

In IPCC (2000) werden die Tier-1a- und Tier-1b-Verfahren für die Ermittlung **direkter Lachgas-Emissionen** aus landwirtschaftlichen Böden beschrieben. Dabei stellt das Tier-1a-Verfahren das Vorgehen gemäß IPCC (1996b) dar. Das Tier-1b-Verfahren weist größere Präzision hinsichtlich der Entwicklung einzelner Terme auf. Liegen jedoch keine genaueren Aktivitätsdaten vor, kann die Berechnung nach dem Tier-1a-Verfahren erfolgen. Prinzipiell erfolgt die Berechnung bei beiden Verfahren in folgenden Schritten:

1. Bestimmung des N-Eintrags durch die landwirtschaftliche Aktivitäten
2. Bestimmung der Emissionsfaktoren für die einzelnen N-Eintragsarten
3. Errechnen der Gesamtemissionen

Das Tier-1a-Verfahren nennt zwei Emissionsfaktoren, einen für die Emissionen durch N-Einträge und einen für die Emissionen aus der Bewirtschaftung organischer Böden (IPCC, 2000: S. 4-54):

$$E_{N_2O, \text{ direkt}} = \left[\frac{(m_{SN} + m_{AM} + m_{BN} + m_{CR} + m_{SS}) \cdot EF_1 + (A_{OS} \cdot EF_2)}{EF_1 + (A_{OS} \cdot EF_2)} \right] \quad (\text{Gl. 6})$$

| | |
|--------------------------------|---|
| mit $E_{N_2O, \text{ direkt}}$ | N ₂ O-Emissionen [kg a ⁻¹ N] |
| m_{SN} | N-Eintrag mit Mineraldüngern, bereinigt um NH ₃ - und NO _x -Emission [kg a ⁻¹ N] |
| m_{AM} | N-Eintrag mit Wirtschaftsdüngern, bereinigt um NH ₃ - und NO _x -Emission [kg a ⁻¹ N] |
| m_{BN} | N-Fixierung durch Leguminosen [kg a ⁻¹ N] |
| m_{CR} | N-Einträge mit Pflanzenreste [kg a ⁻¹ N] |
| m_{SS} | N-Eintrag mit Klärschlämmen [kg a ⁻¹ N] |
| EF_1 | Emissionsfaktor für Emissionen aus den N-Inputs [$EF_1 = 0,0125 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$] |
| A_{OS} | Fläche bewirtschafteter organischer Böden [ha] |
| EF_2 | Emissionsfaktor für Emissionen aus der Bewirtschaftung organischer Böden [$EF_2 = 8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$] |

Die N₂O-Emissionen aus den Tierexkrementen bei Weidehaltung sollen ebenfalls unter den direkten Emissionen aus Böden berichtet werden, die Methodenbeschreibung und DefaultEF finden sich in IPCC (2000).

Die Berechnung der **indirekten Emissionen** geschieht in folgenden Schritten:

1. Bestimmung der indirekten N-Zufuhr durch die Bestimmung der N-Verluste aus der Landwirtschaft durch Emission, Oberflächenabfluss, Auswaschung und Abwasserentsorgung
2. Bestimmung der Emissionsfaktoren für die einzelnen Eintragsarten
3. Errechnen der Gesamtemissionen

Die Gleichung zur Bestimmung der indirekten N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden lautet:

$$E_{N_2O, \text{ indirekt}} = E_{N_2O, \text{ ge}} + E_{N_2O, \text{ l}} + E_{N_2O, \text{ s}} \quad (\text{Gl. 7})$$

| | |
|----------------------------------|--|
| mit $E_{N_2O, \text{ indirekt}}$ | indirekte N ₂ O-Emissionen [kg a ⁻¹ N ₂ O] |
| $E_{N_2O, \text{ ge}}$ | N ₂ O-Emission aus der Emission von NO _x und NH ₃ aus Dünger, Mist und Gülle und deren nachfolgender atmosphärischer Deposition [kg a ⁻¹ N ₂ O] |
| $E_{N_2O, \text{ l}}$ | N ₂ O-Emission aus Oberflächenabfluss und Auswaschung aufgebracht Dünger [kg a ⁻¹ N ₂ O] |
| $E_{N_2O, \text{ s}}$ | N ₂ O-Emission aus der Entsorgung von Abwässern in Oberflächengewässer [kg a ⁻¹ N ₂ O] |
| mit: $E_{N_2O, \text{ ge}}$ | N ₂ O-Emission aus der Emission von NO _x und NH ₃ aus Düngern und deren nachfolgender atmosphärischer Deposition [Gg a ⁻¹ N ₂ O] |
| $m_{N, \text{ fert}}$ | Menge des aufgetragenen Mineraldüngers [Gg a ⁻¹ N] |
| x_{fert} | Anteil des Mineraldüngers, der als NH ₃ oder NO _x emittiert wird [kg kg ⁻¹ N] (IPCC: $Frac_{GASF}$) |
| $m_{N, \text{ ex}}$ | Gesamtmenge an N in ausgebrachten Wirtschaftsdüngern [Gg a ⁻¹ N] |
| x_{ex} | Anteil des Wirtschaftsdüngers, der als NH ₃ , NO _x , N ₂ O oder N ₂ emittiert wird [kg kg ⁻¹ N] (IPCC: $Frac_{GASM}$) |
| EF_4 | Emissionsfaktor für N ₂ O-Emissionen aus atmosphärischer Deposition [$EF_4 = 0,010 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$] |

Da Deutschland die Emissionen von N-Spezies nach dem Massenfluss-Verfahren berechnet, werden diese Emissionen direkt in die Berechnungen der indirekten Emissionen eingebracht. $Frac_{GASF}$ und $Frac_{GASM}$ sind keine Konstanten.

Eine Entsorgung von Abwässern in Oberflächengewässer findet nicht statt (NO).

Die Berechnungsmethoden folgen in den meisten Fällen den Vorgaben der einfacheren Methode, wie sie im CORINAIR-Handbuch beschrieben ist (EMEP,

2003). Spezifische Einzelheiten gehen aus den folgenden Abschnitten hervor. Die Anbauflächen werden aus der Offizialstatistik für jedes Berichtsjahr übernommen. Die Berechnung der Emissionen für die Jahre nach 1999 beruht auf vorläufigen Annahmen zur Flächennutzung.

7.2.2 Methan-Konsumption von landwirtschaftlichen Böden (4.D)

Die Berechnung der CH₄-Deposition beruht auf einem Vorschlag von BOECKX und VAN CLEEMPUT (2001), die die verfügbaren Ergebnisse europäischer Messungen zusammenfassen. Unterschieden werden danach Grünlandflächen ($EF_{CH_4} = -2,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CH}_4$) und Ackerland ($EF_{CH_4} = -1,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CH}_4$). (siehe hierzu die ausführlichere Schilderung in DÄMMGEN et al., 2006).

7.2.3 Emissionen von flüchtigen Kohlenwasserstoffen ohne Methan aus landwirtschaftlichen Böden und Kulturen (erste Schätzung) (4.D)

Die Größenordnung der NMVOC-Emissionen aus Pflanzen wurde anhand des im CORINAIR-Handbuch angegebenen Verfahrens geschätzt (EMEP, 2003). Hier werden für einige der Hauptfruchtarten flächenabhängige Emissionsfaktoren angegeben (zu Einzelheiten siehe DÄMMGEN et al., 2005).

7.2.4 Distickstoffoxid- und Stickstoffmonoxid-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (Düngeranwendung) (4.D)

Die Berechnung beruht auf der Annahme, dass die Emission der beiden Gase den N-Einträgen ins System im Mittel proportional ist. Die N-Einträge aus Mineraldüngern werden der amtlichen Statistik entnommen. Als Aktivitätsdaten dienen die (je Bundesland) verkauften Mineraldünger-Mengen. Die Einträge aus Wirtschaftsdüngern ergeben sich aus den Berechnungen der N-Flüsse im Wirtschaftsdünger-Management. (zu Einzelheiten siehe DÄMMGEN et al., 2006).

7.2.5 Distickstoffoxid-, Stickstoffmonoxid-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (Leguminosen) (4.D)

Die durch Leguminosen fixierten N-Mengen werden aus den Anbauflächen (DÄMMGEN et al., 2006) und nationalen Mittelwerten der flächenspezifischen N-Fixierung berechnet.

$$E_N = b \cdot EF_1 \cdot \sum_i A_i \cdot m_{NF,i} \quad (\text{Gl. 8})$$

mit E_N Emission von N-Spezies [Gg a⁻¹ N]

| | |
|------------|--|
| b | Umwandlungsfaktor [10 ⁶ kg Gg ⁻¹] |
| EF_1 | Emissionsfaktor für Emissionen aus N-Einträgen [kg ha ⁻¹ N] (siehe unten) |
| A_i | Anbaufläche einer Frucht i [ha] |
| $m_{NF,i}$ | fixierte N-Mengen [kg ha ⁻¹ a ⁻¹ N] (siehe unten) |

| | |
|--|---------------------------|
| Unterschieden werden fixierte Mengen $m_{NF,i}$ für: | |
| Hülsenfrüchte | 250 kg ha ⁻¹ N |
| Klee, Klee/Gras, Klee/Luzerne | 200 kg ha ⁻¹ N |
| Luzerne | 300 kg ha ⁻¹ N |

Als Emissionsfaktoren werden verwendet:

| | |
|---------------|------------------------------|
| EF_{1,N_2O} | 0,0125 kg kg ⁻¹ N |
| $EF_{1,NO}$ | 0,007 kg kg ⁻¹ N |

Gleichung 1 leitet sich unmittelbar aus Gleichung 4.21 in IPCC (2000) ab. Während dort vorgeschlagen wird, $m_{NF,i}$ für unterschiedliche Arten über den Ertrag oder die oberirdische Biomasse zu schätzen, werden im oben beschriebenen deutschen Verfahren die fixierten N-Mengen aus Tabellenwerken entnommen. Die Aktivität ist $\Sigma(A_i m_{NF,i})$.

7.2.6 Distickstoffoxid- und Stickstoffmonoxid-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (Ernterückstände) (4.D)

Die mit den Ernterückständen im Boden verbleibenden N-Mengen werden aus der Anbaufläche und den kulturspezifischen N-Rückständen berechnet:

Gleichung 2: Bestimmung der Emissionen von N-Spezies aus Ernterückständen

$$E_{N_2O,Crop} = EF_{N_2O} \cdot m_{N,Crop} \cdot A_{Crop} \cdot \frac{44}{28} \cdot \beta \quad (\text{Gl. 10})$$

| | |
|---------------------|--|
| mit $E_{N_2O,Crop}$ | N ₂ O-Emission aus dem Anbau einer Feldfrucht [Gg a ⁻¹ N ₂ O] |
| EF_{N_2O} | Emissionsfaktor [kg kg ⁻¹ N] (siehe unten) |
| $m_{N,Crop}$ | Stickstoffmenge in Ernterückständen [kg ha ⁻¹ a ⁻¹ N] |
| A_{Crop} | Anbauflächen einer Feldfrucht [ha] |
| β | Umrechnungsfaktor [$\beta = 10^6 \text{ kg Gg}^{-1}$] |

Die Rechnungen benutzen Default-Emissionsfaktoren für die Berechnung der Emissionen aus Mineraldünger- und Wirtschaftsdünger-Anwendungen (IPCC et al., 1996b: Tabelle 4-19 und EMEP, 2003: B1010-15): $EF_{N_2O} = 0,0125 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$; $EF_{NO} = 0,007 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$; $EF_{N_2} = 0,1 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$. Die gleichen Faktoren werden auch auf die in Ernterückständen gebundenen N-Mengen angewendet.

Die N-Mengen in den Ernterückständen gehen aus der folgenden Zusammenstellung hervor:

| | |
|--------------|--------------------------|
| Weizen | 17 kg ha ⁻¹ N |
| Roggen | 14 kg ha ⁻¹ N |
| Wintergerste | 12 kg ha ⁻¹ N |
| Sommergerste | 9 kg ha ⁻¹ N |

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Hafer | 14 kg ha ⁻¹ N |
| Triticale | 12 kg ha ⁻¹ N |
| Körnermais | 60 kg ha ⁻¹ N |
| Silomais | 26,7 kg ha ⁻¹ N |
| Raps | 15 kg ha ⁻¹ N |
| Zuckerrübe | 22 kg ha ⁻¹ N |
| Futterrübe | 0,11 kg ha ⁻¹ N |
| Klee, Klee-Gras, Klee-Luzerne | 40 kg ha ⁻¹ N |
| Luzerne | 158 kg ha ⁻¹ N |
| Gras | 30 kg ha ⁻¹ N |
| Kartoffeln | 10 kg ha ⁻¹ N |

Die Anbauflächen sind bei LÜTTICH et al. (2005) zusammengestellt.

In den CRF Tabellen wird die Emissionsmenge eingetragen, nicht jedoch die Aktivitätsrate oder der IEF. Diese sind als NA eingetragen.

7.2.7 Distickstoffoxid-Emissionen aus organischen Böden (4.D)

Lachgas-Emissionen aus der Bewirtschaftung *organischer Böden* werden nach der einfacheren Methode errechnet. Demnach sind die Emissionen proportional zur Fläche. Da es keine statistischen Daten

zur Nutzung dieser Böden gibt, wurde die Fläche über Verschneidung von Landnutzungs- und Bodenkarten abgeschätzt (Einzelheiten hierzu siehe DÄMMGEN et al., 2006). Als Emissionsfaktor wurde der „neue“ Default-Faktor EF_2 (alt: IPCC, 1996b: Tabelle 4.18: 5 kg ha⁻¹ a⁻¹ N₂O-N; neu: IPCC, 2000: Tabelle 4.17: 8 kg ha⁻¹ a⁻¹ N₂O-N) verwendet.

7.2.8 Distickstoffoxid-Emissionen aus beim Weidegang ausgeschiedenen Exkrementen (4.D)

Die aus dem Weidegang resultierenden Emissionen von N-Spezies werden aus den anteiligen Ausscheidungen auf der Weide bei der Behandlung der Wirtschaftsdünger nach dem Massenfluss-Verfahren für jede Tierart kreisweise berechnet und für die Bundesländer aufsummiert (Einzelheiten siehe DÄMMGEN et al., 2005).

Als Emissionsfaktoren werden verwendet (EMEP, 2003: B1010-13; IPCC, 1996b: Tabelle 4-22):

| | |
|------------------|-----------------------------|
| NH ₃ | 0,075 kg kg ⁻¹ N |
| N ₂ O | 0,02 kg kg ⁻¹ N |
| NO | 0,02 kg kg ⁻¹ N |

Tabelle 23: Vergleich der im NIR 2005 und NIR 2006 angegebenen direkten N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden..

| | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Gg a ⁻¹ N ₂ O] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 97,3 | 90,1 | 87,4 | 85,0 | 80,6 | 84,3 | 84,2 | 83,8 | 84,5 | 86,3 | 87,8 | 84,9 | 83,1 | 82,6 | |
| NIR 2006 | 97,1 | 89,7 | 87,2 | 84,9 | 80,5 | 84,2 | 84,1 | 83,6 | 84,4 | 86,7 | 88,3 | 86,0 | 84,2 | 84,2 | 84,5 |

Tabelle 24: Vergleich der im NIR 2005 und NIR 2006 angegebenen indirekten N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden.

| | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Gg a ⁻¹ N ₂ O] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 44,2 | 40,2 | 38,9 | 37,5 | 35,2 | 37,0 | 36,9 | 36,5 | 36,9 | 37,9 | 38,7 | 37,2 | 36,2 | 36,0 | |
| NIR 2006 | 45,9 | 41,6 | 40,3 | 38,9 | 36,7 | 38,6 | 38,4 | 38,0 | 38,4 | 39,7 | 40,6 | 39,1 | 38,2 | 38,1 | 38,1 |

Tabelle 25: Vergleich der im NIR 2005 und NIR 2006 angegebenen NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden.

| | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | [Gg a ⁻¹ NO] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 65,6 | 59,6 | 57,5 | 55,6 | 52,0 | 54,8 | 54,9 | 54,5 | 55,0 | 56,3 | 57,4 | 55,3 | 53,7 | 53,2 | |
| NIR 2006 | 63,9 | 57,9 | 56,1 | 54,4 | 50,7 | 53,5 | 53,5 | 53,1 | 53,7 | 55,5 | 56,7 | 54,6 | 53,2 | 53,1 | 53,2 |

Tabelle 26: Vergleich der im NIR 2005 und NIR 2006 angegebenen NH₃-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden.

| | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | [Tg a ⁻¹ NH ₃] | | | | | | | | | | | | | | |
| NIR 2005 | 0,122 | 0,111 | 0,105 | 0,109 | 0,099 | 0,110 | 0,111 | 0,112 | 0,115 | 0,122 | 0,126 | 0,131 | 0,129 | 0,127 | |
| NIR 2006 | 0,115 | 0,105 | 0,099 | 0,103 | 0,093 | 0,104 | 0,104 | 0,106 | 0,109 | 0,117 | 0,121 | 0,125 | 0,124 | 0,123 | 0,128 |

7.3 Geplante Verbesserungen (quellenspezifisch) (4.D)

7.3.1 Ammoniak-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (4.D)

Diese Emissionen sollen weiter räumlich und zeitlich disaggregiert werden: Hierzu sollen die applizierten Dünger-Mengen nach Grünland und Ackerland differenziert werden. Die in einzelnen Landkreisen ausgebrachten Mengen sollen plausibel geschätzt werden. Eine zeitliche Auflösung von 1 Monat ist vorgesehen.

Die Emissionen während des Weidegangs sollen ebenfalls mit einer zeitlichen Auflösung von 1 Monat erfasst werden.

7.3.2 Distickstoffoxid und Stickstoffmonoxid-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (4.D)

Es ist geplant, mittelfristig ein Tier-3-Verfahren zur Berechnung der Emissionen dieser Gase einzusetzen. Kurzfristig wird versucht, die Literatur zur Emission von NO aus landwirtschaftlichen Nutzflächen auszuwerten, um bessere Emissionsfaktoren zu gewinnen.

7.3.3 Unsicherheit der Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (4.D)

Die der Emissionsberechnung zugrunde gelegten statistischen Angaben müssen um Angaben über Fehler und Streuung erweitert werden, um die geforderten Unsicherheiten berechnen zu können. Das derzeitige Inventar für landwirtschaftliche Emissionen trägt dem bereits Rechnung. Die Einzelfehler in den Termen einer komplexen Emissionsfunktion müssten mit einer Fehlerfortpflanzungsrechnung zum Gesamtfehler verrechnet werden. Dies ist hier insbesondere für die NH₃-Emissionen durchzuführen, die zu indirekten Emissionen führen, ebenso für die dem Boden zugeführten N-Mengen nach Anwendung von Wirtschaftsdüngern.

8 Brandrodung (4.E)

Brandrodung wird in Deutschland nicht praktiziert (NO).

9 Verbrennen von Ernterückständen auf der Fläche (4.F)

Das Verbrennen von Ernterückständen ist in Deutschland untersagt. Die genehmigten Ausnahmen lassen sich nicht erfassen. Sie werden als irrelevant angesehen (NO).

10 Andere Bereiche (4.G.)

10.1 Beschreibung der Quellgruppe (4.G)

Die Quellgruppe „andere Bereiche“ umfasst derzeit die Emissionen von Partikeln aus der Tierhaltung in Ställen und der Landbewirtschaftung. Hierüber wird erstmals berichtet.

10.2 Methodische Aspekte und Anforderungen (4.G)

Für die Beschreibung der Emission von Stäuben fehlten zur Zeit der Erstellung des Inventars Richtlinien. Die Berechnung der Stäube aus der Bearbeitung von Ackerland wurde deshalb ein bei KLIMONT et al. (2002) beschriebenes und bei IIASA angewendetes Verfahren benutzt, das die Emissionen auf die bearbeiteten Flächen bezieht:

$$E_{PM10} = \sum A_a \cdot EF_{PM10} \cdot \beta$$

| | |
|----------------|---|
| mit E_{PM10} | Emission [Gg a ⁻¹ PM ₁₀] |
| A_a | Ackerlandfläche [ha] |
| EF_{PM10} | Emissionsfaktor [$EF_{PM10} = 0,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ PM}_{10}$] |
| β | Massenumrechnungsfaktor [$\beta = 10^{-6} \text{ Gg kg}^{-1}$] |

Die benötigten Flächen werden der Flächennutzungsstatistik entnommen.

Die Berechnung der Emissionen aus der Tierhaltung beschränkt sich auf die Emissionen aus Ställen. Hier ist der Entwurf einer Richtlinie mit dem Status einer ersten Schätzung vorhanden (EMEP, 2005).

$$E_{PM, i} = x_{\text{house}, i} \cdot \beta \cdot (x_{\text{slurry}, i} \cdot EF_{\text{slurry}, i} + x_{\text{solid}, i} \cdot EF_{\text{solid}, i})$$

| | |
|----------------------|---|
| mit $E_{PM, i}$ | PM-Emission einer Tierkategorie i [Gg a ⁻¹ PM] |
| β | Massenumrechnungsfaktor [$\beta = 10^{-6} \text{ Gg kg}^{-1}$] |
| x_{house} | Zeitanteil der Haltung im Stall [a ⁻¹] |
| x_{slurry} | Anteil der Population in Gülle-Systemen |
| EF_{slurry} | Emissionsfaktor für Gülle-Systeme [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹] |
| x_{solid} | Anteil der Population in Festmistsystemen |
| EF_{solid} | Emissionsfaktor für Festmistsystemen [8kg Platz ⁻¹ a ⁻¹] |

Die Tierzahlen werden der Statistik entnommen. Sie werden gegebenenfalls korrigiert. Das Verfahren ist nur für eine Reihe von Tieren anwendbar. So fehlen Angaben für Geflügel weitgehend. Die Emissionsfaktoren gehen aus folgender Tabelle hervor:

Tabelle 27: PM10-Emissionen E_{PM10} aus der Bearbeitung von Ackerland. [Gg a⁻¹ PM10]

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| E_{PM10} | 0,086 | 0,110 | 0,108 | 0,108 | 0,108 | 0,109 | 0,098 | 0,105 | 0,113 | 0,125 | 0,120 | 0,124 | 0,135 | 0,130 | 0,135 |

Tabelle 28: PM₁₀ und PM_{2,5}-Emissionen E_{PM10} und $E_{PM2,5}$ aus der Tierhaltung. [Gg a⁻¹ PM]

| Jahr | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| E_{PM10} | 35,3 | 32,3 | 31,7 | 31,4 | 33,4 | 33,0 | 33,8 | 33,8 | 34,3 | 35,4 | 35,1 | 35,8 | 35,8 | 36,8 | 36,4 |
| $E_{PM2,5}$ | 7,9 | 7,1 | 6,8 | 6,7 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 7,0 | 6,9 | 7,0 | 6,9 | 7,0 | 6,9 |

Tabelle 29: PM-Emissionsfaktoren EF_{PM} für Tierhaltung

| Tierkategorie | Stalltyp | Emissionsfaktor für PM ₁₀ [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹] | Emissionsfaktor für PM _{2,5} [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹] |
|----------------------------|---------------------------------|---|--|
| Milchkühe | Anbindehaltung oder eingestreut | 0,36 | 0,23 |
| | Boxenlaufstall (Gülle) | 0,70 | 0,45 |
| Färsen und Mastbullen | Festmist | 0,24 | 0,16 |
| | Gülle | 0,32 | 0,21 |
| Kälber | Festmist | 0,16 | 0,10 |
| | Gülle | 0,15 | 0,10 |
| Sauen | Festmist | 0,58 | 0,094 |
| | Gülle | 0,45 | 0,073 |
| Aufzuchtferkel | Festmist | * | * |
| | Gülle | 0,18 | 0,029 |
| Mastschweine | Festmist | 0,50 | 0,081 |
| | Gülle | 0,42 | 0,069 |
| Pferde | Festmist ¹⁾ | 0,18 | 0,12 |
| Legehennen | Käfig | 0,017 | 0,0021 |
| | Voliere | 0,27 | 0,052 |
| Masthähnchen und -hühnchen | Festmist | 0,35 | 0,045 |

* kein Emissionsfaktor angegeben

10.3 Quellspezifische Rückrechnungen (4.G)

Die Berechnungen wurden erstmals vorgenommen. Quellspezifische Rückrechnungen entfallen.

10.4 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.G)

Die Datenbasis der Emissionsfaktoren ist vergleichsweise gering. Die Größenordnung der Angaben dürfte zutreffend sein. Die Zeitreihen sind konsistent.

10.5 Quellspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.G)

Eine Qualitätssicherung war nicht möglich.

10.6 Geplante Verbesserungen (quellspezifisch) (4.G)

Die Verbesserung der Emissionsfaktoren für deutsche Verhältnisse soll innerhalb eines Forschungsvorhabens erreicht werden.

11 Literatur

- Boeckx P, Van Cleemput O (2001) Estimates of N₂O and CH₄ fluxes from agricultural lands in various regions in Europe. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 60, 35-47
- Dämmgen U (2006) Statistical Data for Animal Numbers in German Emission Inventories. Landbauforsch Völknerode, Sonderheft 291, 223-230
- Dämmgen U, Lüttich M, Döhler H, Eurich-Menden B, Osterburg B (2002) GAS-EM - A Procedure to Calculate Gaseous Emissions from Agriculture. Landbauforschung Völknerode 52, 19-42.
- Dämmgen U, Lüttich M, Döhler H, Eurich-Menden B, Osterburg B (2004): Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR 2004 for 2002), Part 3. Methods and Data (GAS-EM). In: Dämmgen U Nationaler Inventarbericht 2004 - Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen: Teilbericht für die Quellgruppe Landwirtschaft. Landbauforsch. Völknerode SH 260, 199-262.
- Dämmgen U, Lüttich M, Döhler H, Eurich-Menden B, Osterburg B (2006) Calculations of Emissions from German Agriculture - National Emission Inventory Report (NIR) 2006 for 2004. Methods

- and Data (GAS-EM). Landbauforsch Völkenrode, Sonderheft 291, 47-222.
- Dämmgen U, Kesselmeier J (2006) Potential Importance of the Emissions of Biogenic Sulfur Species from Animal Husbandry. In Vorbereitung
- Dämmgen U, Lüttich M (2006) The Derivation of Nitrogen Excretions for Dairy Cows from Available Statistical Data. Landbauforsch Völkenrode, Sonderheft 291, 231-244.
- EMEP (2000) Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. 2nd ed., EEA, Copenhagen, 2000
- EMEP (2001) Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 3rd edition, EEA, Copenhagen
- EMEP (2002) Atmospheric Emission Inventory Guidebook, Chapter 1090 Manure Management Regarding Nitrogen Compounds. EEA, Copenhagen
- EMEP (2003) Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 3rd edition September 2003 UPDATE, EEA, Copenhagen, 2003
- EMEP (2004) 2004 Emission Inventory Review. http://www.emep.int/REVIEW/2004/KeySource_Analysis_2002.html
- EMEP (2005) Atmospheric Emission Inventory Guidebook. Chapter 1015 Particle Emissions from Animal Husbandry. EEA, Copenhagen
- EMEP (2006) Atmospheric Emission Inventory Guidebook. Chapter 1090 Manure Management Regarding Nitrogen Compounds. Draft.
- Henrichsmeyer W, Cypris Ch, Löhe W, Meuth M, Isermeyer F, Heinrich I, Schefski A, Neander E, Fasterding F, Neumann M, Nieberg H (1996): Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BMELF (94 HS 021), Bonn, Braunschweig
- IPCC (1996a) Intergovernmental Panel on Climatic Change: Greenhouse Gas Inventory, Workbook, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2, 1996
- IPCC (1996b) Intergovernmental Panel on Climate Change: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual, Volume 3, 1996
- IPCC (2000) Intergovernmental Panel on Climatic Change, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories
- Lechtenböhrer S, Harthan R, Dämmgen U, Strogies M (2005): Umsetzung des Inventarplanes und nationale unabhängige Überprüfung der Emissionsinventare für Treibhausgase. Teilvorhaben 01. Pilotstudie unabhängige bilaterale Inventarüberprüfung. Endbericht im Auftrag des Umweltbundesamts FKZ: 202 42 203
- Lüttich M, Dämmgen U, Eurich-Menden B, Döhler H, Osterburg B (2004): Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR 2004 for 2002). Part 2. Tables. In: Dämmgen U (Hrsg.) Nationaler Inventarbericht 2004 - Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen: Teilbericht für die Quellgruppe Landwirtschaft. Landbauforsch. Völkenrode SH 260, 33-198.
- Lüttich M, Dämmgen U, Eurich-Menden B, Döhler H, Osterburg B (2006): Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2006 for 2004. Tables. Landbauforsch Völkenrode, Sonderheft 291 A.
- Reidy B, Dämmgen U, Döhler H, Eurich-Menden B, Hutchings NJ, Luesink HH, Menzi H, Misselbrook TH, Monteny G-J, Webb J (2006) Comparison of models used for the calculation of national NH₃ emission inventories from agriculture: liquid manure systems. (In Vorbereitung)