

Texte 5/02

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 299 42 245/02
UBA-FB 000249

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

von

Helmut Döhler, Brigitte Eurich-Menden

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

Ulrich Dämmgen, Bernhard Osterburg, Manfred Lüttich, Angela Bergschmidt

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig

Werner Berg, Reiner Brunsch

Institut für Agrartechnik (ATB), Bornim

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft



Bundesministerium
für Verbraucherschutz, Ernährung
und Landwirtschaft

und des Umweltbundesamtes

10 Zusammenfassung

Gasförmige Emissionen aus der Landwirtschaft sind an verschiedenen Umwelteffekten beteiligt. Insbesondere Ammoniak, bei dem die Landwirtschaft bzw. die Tierproduktion Hauptemittent ist, steht aufgrund seiner versauernden und eutrophierenden Wirkung in der Diskussion. Im Rahmen von regionalen Abkommen wie dem Multikomponentenprotokoll der UN/ECE und der NEC - Richtlinie der EU wurden nationale Emissionsobergrenzen für Ammoniak beschlossen. Deutschland hat sich in diesen Abkommen verpflichtet, seine Ammoniak-Emissionen bis zum Jahr 2010 auf 550 Gg (1 Gigagramm = 1000 Tonnen) zu reduzieren. Im Kyoto-Protokoll wird die Höchstmenge der Treibhausgasemissionen festgelegt. Die sind in CO₂-Äquivalenten ausgedrückt. Zu den Treibhausgasemissionen trägt die Landwirtschaft bei N₂O und CH₄ in so erheblichen Mengen bei, dass eine exaktere Quantifizierung der Emissionen als bisher und die Identifikation emissionsmindernder Maßnahmen zu erwarten sind. Welche Beiträge hier zu erwarten sind, ist allerdings noch nicht festgelegt.

Die eingegangenen Verpflichtungen stellen aus umweltpolitischer Sicht eine Chance dar. Allerdings basiert sowohl die Ermittlung der Emissionsobergrenzen als auch die der tatsächlichen Emissionsströme sowie deren Prognosen bislang auf einem stark simplifizierenden Berechnungsverfahren, bei dem Tierzahlen einzelner Tierarten mit den artspezifischen Emissionsfaktoren multipliziert wurden. Da die NH₃-Emissionen jedoch von einer Vielzahl von Faktoren, wie z.B. der Stall- und Weidehaltung, der Art der Güllelagerung und -ausbringung abhängt, ist diese Berechnungsmethode weder in der Lage die derzeitigen Emissionen akkurat abzubilden noch zukünftige Anpassungen im Hinblick auf den technischen Fortschritt darzustellen.

Ziel des Projekts "Landwirtschaftliche Emissionen" war es daher, die für den Agrarbereich bisher verwendeten Methoden der Emissionsberechnung so weiterzuentwickeln, dass die Inventare hinsichtlich der Zuverlässigkeit der erhaltenen Werte und ihrer räumlichen Auflösung ihren Verwendungszwecken und den Anforderungen der internationalen Berichtspflichten entsprechenden, den notwendigen Datenbedarf zu ermitteln und in einer ersten Anwendung eine Neuberechnung der Emissionen von 1990, sowie Prognosen für das Jahr 2010 zu erstellen. Zudem sollten Wirkungen und Kosten von Maßnahmen zur Reduktion von Ammoniak-Emissionen bewertet werden.

Folgende Arbeitsschritte waren hierbei von besonderer Bedeutung:

- Für eine verbesserte Berechnung ist die Ermittlung partieller Emissionsfaktoren zur Beschreibung der einzelnen Quellen von Spurengasemissionen innerhalb einer Produktionskette für alle relevanten Tierkategorien und für die in Deutschland gängigen oder zu erwartenden Haltungsverfahren notwendig. Da bislang keine langjährigen und allgemein anerkannten Messergebnisse vorliegen, wurde mit der KTBL-UBA-Experten-Arbeitsgruppe "Emissionsfaktoren und Emissionsminderungsmaßnahmen" aus existierenden Untersuchungen konsensfähige Werte für die Bereiche Stallhaltung, Weidegang, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern sowie Mineraldüngerausbringung abgestimmt.
- Um die in der Officialstatistik fehlenden Angaben zu einzelnen Tierhaltungsverfahren (Haltungsform, Fütterung, Güllelagerung und Ausbringung) zu ermitteln, wurden Daten in 11 Modellkreisen bei Landwirtschaftskammern und Beratern erhoben.
- Für ausgewählte Verfahren der Tierhaltung, Güllelagerung und Ausbringung erfolgte eine Berechnung der betrieblichen Kosten.

- Die für die Prognose der Emissionen notwendigen Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Tierbestandszahlen, sowie des technischen Fortschritts und um potentielle Politikinstrumente zur Umsetzung von Minderungsmaßnahmen zu bewerten wurde die FAL-BMVEL Arbeitsgruppe ("Agrarstruktur und ökonomische Bewertung") eingesetzt.
- Für alle im EMEP-CORINAIR-Guidebook im Kapitel „Landwirtschaft“ zusammengestellten Verfahren zur Berechnung von Emissionen wurde im Laufe der Überarbeitung dieses Kapitels ein Satz von Excel-Kalkulationstabellen entwickelt, die sowohl nach der einfachen als auch der detaillierten Methode nach den Vorgaben des Guidebook Emissionsströme für Ammoniak, Lachgas, Stickstoffmonoxid und Methan zu ermitteln gestatten. Diese zum Programm GAS-EM (GASeous-Emissions) zusammengestellten Tabellen wurden auf die spezifisch deutschen Verhältnisse angewandt und dokumentiert.
- Zur Berechnung der Ammoniak-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft wurden zwei Modelle eingesetzt:
Das auf Excel basierte Kalkulationsprogramm GAS-EM, mit dem die Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung in den letzten Jahren ermittelt wurden und mit dem auch eine Berechnung anderer NH_3 -Quellen sowie die Kalkulation weiterer Spurengasemissionen möglich ist. Das Agrarsektormodell RAUMIS mit dem Flächennutzung, Tierhaltung und eine Vielzahl weiterer statistischer Quellen zu einer konsistenten Abbildung der deutschen Landwirtschaft zusammengeführt werden. RAUMIS wurde neben den ex-post Berechnungen der Ammoniak-Emissionen insbesondere für die Emissionsprognose sowie Kostenberechnungen und Sensitivitätsanalysen benötigt.

Die Ergebnisse der Studie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Für das Basisjahr 1990 wurden **Ammoniak-Emissionen** von 610 Gg aus der Tierhaltung berechnet. In den folgenden Jahren sanken die Emissionen, insbesondere aufgrund des starken Tierbestandsabbaus in den neuen Ländern, um rund 23 % auf 470 Gg im Jahr 1995. Bis 1999 (466 Gg) ändern sich die Emissionen nur noch geringfügig, da die Tierzahlen in diesem Zeitraum relativ stabil blieben. Verglichen mit den Ergebnissen des Standard-Berechnungsverfahrens nach EMEP/CORINAIR liegen die mit GAS-EM und RAUMIS berechneten NH_3 -Emissionen aus der Tierhaltung um bis zu 20 % niedriger. Dies ist vor allem auf die gegenüber dem Standardverfahren stärkere Differenzierung der Emissionskalkulation zurückzuführen, die eine Berücksichtigung der aktuell eingesetzten Verfahren in der Tierhaltung und im Wirtschaftsdüngermanagement ermöglicht.

Zur Abschätzung der Emissionen für das Jahr 2010 wurden verschiedene Annahmen zu Tierbestandsentwicklung und technologischem Wandel getroffen: Unter der Annahme kontinuierlichen technologischen Wandels und stark verringerter Tierbestände sinken die Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung bis zum Jahr 2010 auf rund 419 Gg. Bei ebensolchem technologischen Wandel und weniger stark zurückgehenden Tierbeständen ist immerhin noch ein Rückgang auf 434 Gg a^{-1} NH_3 zu erwarten. Findet jedoch zwischen dem Jahr 2000 und 2010 kein emissionsmindernder technologischer Wandel mehr statt, sind im Jahr 2010 Emissionen von 461 Gg a^{-1} NH_3 aus der Tierhaltung zu erwarten. Unter Berücksichtigung der Emissionen aus anderen Quellen von 100 bis 140 Gg a^{-1} wäre in diesem Fall die von Deutschland eingegangene Verpflichtung zu einer Reduktion der NH_3 -Emissionen auf 550 Gg im Jahr 2010 nicht einzuhalten.

Um das Reduktionsziel mit Sicherheit zu erreichen, sollten daher gezielte Emissions-

Minderungsmaßnahmen umgesetzt werden. Zur Berechnung verschiedener Minderungsszenarien müssen zunächst die Minderungspotentiale und -kosten verschiedener Maßnahmen analysiert werden. Als besonders geeignete Ansatzstellen für die Ammoniak-Emissionsminderung erwies sich bei allen Tierarten die unverzügliche Dungeinarbeitung nach der Ausbringung. Bei Schweinen sind zudem die Güllelagerabdeckung und die N-angepasste Fütterung zu nennen, bei Geflügel ist vor allem Kottrocknung von Bedeutung. Obgleich Maßnahmen bei Rindern aufgrund ihres hohen Anteils an den Gesamtammoniak-Emissionen ein hohes Minderungspotential aufweisen, begrenzen hohe Kosten und mangelnde technische Anwendungsreife die Umsetzung.

Mit einer Emission von $461 \text{ Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$ als Referenzsituation wurden drei unterschiedliche Szenarien zur Ammoniak-Emissionsminderung für das Jahr 2010 berechnet: Szenario 1 beschreibt eine „realistische Minimalminderung“, bei der angenommen wird, dass durch Förderung nur begrenzte Umstellungsraten auf emissionsmindernde Technologien zu erzielen sind. Im zweiten Szenario wird eine „realistische Maximalminderung“ mit obligatorischen Auflagen für die Tierhaltung und höheren Umsetzungsraten für emissionsmindernde Technologien angenommen. Eine „relativ unrealistische Maximalminderung“ wird in Szenario 3 definiert. Zu den Annahmen aus Szenario 2 kommen unter anderem eine stärkere Umsetzung verbesserter Fütterung und unmittelbarer Einarbeitung hinzu.

Tab. 10.1: Ergebnisse der Umsetzung von Emissionsminderungsszenarien im Vergleich zur Referenzsituation

	NH ₃ - Emissionen im Jahr 2010	Emissionsminderung gegenüber der Referenz		Kosten im Vergleich zur Referenz	Kostenwirksamkeit
Szenario	Gg a ⁻¹	Gg a ⁻¹	%	Mio. DM (nur für Rinder und Schweine)	DM/kg NH ₃ Reduktion
Referenz	461				
Szenario 1	429	32,1	7	296	11,9
Szenario 2	411	50,5	11	569	12,3
Szenario 3	390	71,0	15	631	10,1

Berechnungen: RAUMIS

Die Bewertung politischer Instrumente (Auflagen, Förderung etc.) zur Umsetzung der Minderungsmaßnahmen erfolgte im Hinblick auf die Kriterien: Wirksamkeit, administrative Umsetzbarkeit und Kontrollierbarkeit, Akzeptanz und Zielgenauigkeit. Politische Maßnahmen die zur Emissionsminderung als besonders geeignet bewertet wurden sind:

- Auflagen zur festen Abdeckung von Güllelagern, ev. mit Förderung in Übergangsfristen,
- Weiterentwicklung der "guten fachlichen Praxis" und des "Standes der Technik" insbesondere im Hinblick auf die Gülleausbringung,
- Beratung bei Maßnahmen, die im Eigeninteresse des Landwirtes liegen, deren Verbreitung aber durch mangelnde Managementkenntnisse begrenzt wird (z.B. N-angepasste Fütterung).

Im Hinblick auf die Umweltwirkungen des Ammoniaks wird in Zukunft die regionale Konzentration in der Tierhaltung eine bedeutende Rolle spielen. Hohe regionale Umweltbelastungen kön-

nen durch Tierbestandsabstockungen in Intensivregionen reduziert werden. Zu berücksichtigen ist, dass der Export von Wirtschaftsdünger in andere Regionen derzeit als Flächennachweis in viehstarken Betrieben anerkannt wird. Daher ist der überregionale Transport von Wirtschaftsdünger als Ansatzpunkt für politische Maßnahmen in die Überlegungen einzubeziehen.

Bei der Berechnung der **Lachgas-Emissionen** führt die Anwendung der einfachen E-MEP/CORINAR bzw. IPCC-Verfahren zu einer erheblichen Erhöhung der nationalen Emissionen, weil im Gegensatz zum bisher in Deutschland angewandten Verfahren weitere Quellen berücksichtigt werden. Hier sind insbesondere die indirekten Emissionen als Folge der Auswaschung von reaktiven Stickstoffspezies aus landwirtschaftlichen Nutzflächen, aber auch die indirekten Emissionen als Folge der Deposition von landwirtschaftsbürtigen N-Spezies zu nennen (N_2O -Emissionen aus der Landwirtschaft 1996 nach UBA bisher weniger als 80 Gg a^{-1} , nach GAS-EM 96 Gg a^{-1}). Bisher beschränken sich die Rechnungen auf einfache Verfahren. Die Entwicklung von detaillierten Rechenverfahren ist zur Zeit wegen mangelnder Prozesskenntnisse nicht möglich.

Bei der Berechnung der **Methan-Emissionen** wird das vorgeschriebene einfache Verfahren nach IPCC angewendet. Dies liegt bereits jetzt den nationalen Berichten zugrunde. Die detailliertere Berechnung von Methan-Emissionen aus der Wiederkäuerhaltung (enteric fermentation) ist noch zu entwickeln. Die Methan-Konsumption landwirtschaftlicher Böden erwies sich als praktisch bedeutungslos.

Die Prognose landwirtschaftlicher Emissionen wird durch die kontinuierliche Weiterentwicklung internationaler Abkommen auch in Zukunft für die Politikberatung eine wichtige Rolle spielen. Modellberechnungen im Genfer Luftreinhalteabkommen, die maximale nationale Emissionsmengen an kritischen Belastungen (critical loads) orientieren, hier am Schutz gefährdeter Ökosysteme vor Versauerung bzw. Versauerung und Eutrophierung, schätzen die noch vertretbaren nationalen Emissionsströme auf etwa 400 (Versauerung) bzw. 300 $\text{Gg a}^{-1} \text{ NH}_3$ (Versauerung und Eutrophierung). Voraussetzung für zukünftige Emissionsberechnungen ist eine statistische **Datenbasis** für die Situation in der Stall- und Weidehaltung, Wirtschaftsdüngerlagerung und –ausbringung. Weiterer **Forschungsbedarf** besteht bei der Messung der Emissionen von Ammoniak und anderer Spurengasen (Methodik, Zeitreihen, Untersuchung neuer Haltungsformen) und im Hinblick auf die Schätzung der N-Umsetzung im Stall und während der Lagerung. Bei der Weiterentwicklung der Modelle wird künftig ein Schwerpunkt in der besseren Abbildung der Zusammenhänge mit anderen Umweltbereichen (Nitratauswaschung ins Grund- und Oberflächenwasser, andere Spurengase) und der wechselseitigen Beeinflussung von Minderungsmaßnahmen für unterschiedliche Spurengase liegen. Von Relevanz für die Umsetzung emissionsmindernder Maßnahmen wird in Zukunft die Entwicklung verbesserter (emissionsreduzierter) Verfahren im Bereich der Stallhaltung, bei der Lagerung von Festmist sowie bei der Ausbringung von Rindergülle auf bewachsene Flächen sein.

10 Summary

Gaseous emissions from agriculture contribute to a number of environmental effects. Due to its acidifying and eutrophying effect, nitrate in particular, whose main emission source is agriculture and livestock production, is being discussed in this context. National emission ceilings for ammonia have been adopted within the framework of regional agreements such as the UN/ECE's Multi-pollutant, Multi-effect Protocol and the NEC Directive of the EU. Under these agreements, Germany undertook to reduce its ammonia emissions to 550 Gg (1 gigagram = 1000 tons) by 2010. The Kyoto Protocol sets emission ceilings for greenhouse gas emissions, expressed as CO₂ equivalents. In the case of N₂O and CH₄, agriculture's contribution to greenhouse gas emissions is so substantial that it can be expected that emissions will need to be calculated more exactly than in the past and emission abatement measures will need to be identified. The relevant specific contributions have not yet been defined, however.

From an environmental perspective, the commitments entered into represent an opportunity. However, up to now, the determination of emission ceilings and of present and future emission flows has been based on a simple calculation method, in which animal numbers of individual livestock categories are multiplied by category-specific emission factors. As emissions of NH₃ are influenced by a multitude of factors, such as whether livestock is kept indoors or outdoors or the way slurry is stored and applied, this calculation method is not capable either of accurately depicting current emissions or describing future changes with a view to technical progress.

The project entitled "Agricultural Emissions" aimed, therefore, to refine the existing emission calculation methods for the agricultural sector in such a way that the inventories fulfil their intended purposes and meet international reporting requirements in terms of both the reliability of the resulting figures and their spatial resolution, to identify data needs, to recalculate 1990 emissions and to forecast emissions for the year 2010. In addition, the impact and cost of measures to reduce ammonia emissions were to be assessed.

The project consisted of the following main stages:

- Improved calculation requires determination of partial emission factors to describe the various sources of trace gas emissions within a production chain for all relevant livestock categories and for the husbandry techniques currently in use or expected to be used in Germany. Since long-term and generally accepted measuring results are not yet available, acceptable values were derived from available studies, in co-ordination with the KTBL / UBA Working Group on "Emission Factors and Emission Abatement Measures", for the areas indoor/outdoor livestock production, storage and land spreading of animal manures, and application of mineral fertilisers.
- Chambers of agriculture and consultants in 11 model districts were surveyed to generate data on individual livestock farming techniques (keeping system, feeding, storage and spreading of manures) on which no data are available in the official statistics.
- Operational costs were calculated for selected livestock farming, slurry storage and slurry spreading techniques.

- A FAL / BMVEL working group ("Agricultural Structures and Economic Assessment") was set up to formulate assumptions for the future development of livestock numbers and technical progress, which are needed for forecasting emissions, and assess potential policy instruments for the implementation of abatement measures.
- In the course of the revision of the chapter "Agriculture" of the EMEP CORINAIR Guidebook, a set of Excel spreadsheets was developed for all methods compiled in this chapter. These spreadsheets permit emissions of ammonia, laughing gas, nitric oxide and methane to be determined according to both the simple and the detailed method as prescribed in the Guidebook. These spreadsheets, collated into the GAS-EM (GASeous EMISSIONS) programme, were applied to the specific situation in Germany, and documented.
- To calculate ammonia emissions from German agriculture, two models were applied:

The Excel-based programme GAS-EM was used to determine ammonia emissions from animal husbandry in previous years. The programme also permits calculation of emissions from other ammonia sources and other trace gases.

The agriculture-specific model RAUMIS was used to combine data on land use, animal husbandry and numerous other statistical parameters to produce a consistent picture of German agriculture. In addition to ex-post calculation of ammonia emissions, RAUMIS was needed in particular for the emission forecast and for cost calculations and sensitivity analyses.

The results of the study are summarised below:

For the base year 1990, **ammonia emissions** from animal husbandry were calculated at 610 Gg. In subsequent years, emissions decreased by around 23 %, to 470 Gg in 1995, due in particular to the sharp reduction in livestock numbers in the new Federal States. Emissions then changed only slightly until 1999 (466 Gg), as livestock numbers remained relatively stable during this period. Compared with the results of the EMEP/CORINAIR standard calculation method, ammonia emissions from animal husbandry as calculated using GAS-EM and RAUMIS are up to 20 % lower. This is mainly due to the fact that compared to the standard method, the emission calculation is more differentiated, allowing the techniques currently in use in animal husbandry and in the management of animal manures to be taken into account.

In estimating emissions for 2010, different assumptions were made concerning the development of livestock numbers and technological change. Assuming continued technological change and a sharp reduction in livestock numbers, ammonia emissions from animal husbandry will fall to around 419 Gg by 2010. Assuming the same rate of technological change and not as sharp a decline in animal numbers, emissions can be expected to still fall to 434 Gg a⁻¹ NH₃. However, if technological change in emission abatement ceases between 2000 and 2010, emissions from animal husbandry in 2010 are expected to amount to 461 Gg a⁻¹ NH₃. Adding the emissions from other sources, of 100-140 Gg a⁻¹, Germany could not in this case meet its commitment to reduce ammonia emissions to 550 Gg by 2010.

Therefore, in order to safely achieve the reduction target, selective emission abatement measures should be implemented. Calculation for different abatement scenarios requires as a first step an

analysis of the reduction potential and costs of various measures. Ploughing in of animal wastes directly after application proved to be a particularly suitable measure for abatement of ammonia emissions, for all livestock classes. For pigs, covering of the slurry storage tank and N-adapted feeding are additional measures that deserve to be mentioned; for poultry, it is mainly drying of the excrements. Emission abatement measures for cattle have a high potential for achieving reductions because cattle accounts for a large percentage of total ammonia emissions, but high costs and insufficient technical evolution of the measures concerned limit their application.

Taking a reference emission of 461 Gg a⁻¹ NH₃ as the baseline, calculations were carried out for 2010 for three different emission abatement scenarios. Scenario 1 describes a “realistic minimum reduction”, assuming that promotion would achieve only limited rates of conversion to low-emission techniques. Scenario 2 assumes a “realistic maximum reduction”, with mandatory requirements for animal husbandry and higher rates of conversion to low-emission techniques. Scenario 3 defines a “relatively unrealistic maximum reduction”, in which the assumptions of Scenario 2 were supplemented *inter alia* by an assumed wider implementation of improved feeding regimes and direct incorporation of animal manures into the soil.

Table 10.1: Results of the implementation of emission abatement scenarios in comparison with the reference situation

	NH ₃ emission in 2010	Emission reduction relative to reference		Costs relative to reference	Cost effectiveness
Scenario	Gg a ⁻¹	Gg a ⁻¹	%	Million DM (only for cattle and pigs)	DM/kg NH ₃ reduced
Reference	461				
Scenario 1	429	32.1	7	296	11.9
Scenario 2	411	50.5	11	569	12.3
Scenario 3	390	71.0	15	631	10.1

Calculations performed using RAUMIS

Policy instruments (mandatory requirements, promotion, etc.) for the implementation of abatement measures were assessed according to the following criteria: effectiveness, administrative practicality and controllability, acceptance, and reach. The following policy measures were found to be particularly suitable for achieving emission reductions:

- requirements mandating that slurry storage tanks be provided with a strong cover, possibly coupled with promotion during the transition period,
- further development of “good agricultural practice” and the “state of the art”, in particular with a view to land spreading of slurry,
- advising, in the case of measures which are in the farmer’s own interest but whose propagation is limited by insufficient knowledge of management options (e.g. N-adapted feeding).

With a view to the environmental impacts of ammonia, the regional concentration of livestock farming will be a significant factor in the future. High regional impacts can be reduced by reducing livestock

numbers in regions with intensive livestock farming. A fact to be taken into account is that at present, the export of animal manures to other regions is recognised as proof of land spreading capacity for holdings with high livestock numbers. Therefore, when formulating policy actions, the supra-regional transport of animal manures should be taken into account as a potential measure.

In calculating **emissions of laughing gas**, use of the simple EMEP/CORINAIR or IPPC methods resulted in a markedly higher figure for national emissions, because these methods take into account further sources not covered by the method hitherto applied in Germany. This includes, in particular, indirect emissions from the leach-out of reactive nitrogen species from farmland, but also from the deposition of N species originating from agriculture (N₂O emissions from agriculture in 1996: less than 80 Gg a⁻¹ according to the method previously used by the Federal Environmental Agency and 96 Gg a⁻¹ according to GAS-EM). Only simple calculation procedures have been used up to now. Detailed calculation methods cannot currently be developed, due to insufficient knowledge about the processes involved.

To calculate **methane emissions**, the required simple method according to IPPC was applied. This method is already being used for national reporting. A detailed method for the calculation of methane emissions from ruminant husbandry (enteric fermentation) has yet to be developed. Methane consumption by agricultural soils proved to be virtually irrelevant.

The continual further development of international agreements means that forecasting of agricultural emissions will continue to play an important role for policy advisors. Modelling carried out under the Geneva Convention on Long-range Transboundary Air Pollution to calculate national emission ceilings on the basis of critical loads for protection of ecosystems against acidification or against acidification and eutrophication estimated the tolerable national emission level at about 400 (acidification) or 300 (acidification and eutrophication) Gg a⁻¹ NH₃. The prerequisite for future emission calculations is a statistical **data base** on the situation in indoor livestock production, outdoor livestock production, and storage and land spreading of animal manures. There is a **need for further research** on the measurement of emissions of ammonia and other trace gases (methodology, time series, analysis of new livestock production systems) and the estimation of N turnover in animal houses and during storage. In refining the models, a main focus in the future will be to better depict the interrelations with other environmental compartments (leaching of nitrate to groundwater and surface waters, other trace gases) and the interactions between abatement measures for different trace gases. In terms of the implementation of emission abatement measures, the development of improved (low-emission) techniques for indoor animal production, storage of solid dung and spreading of cattle slurry on land covered by vegetation will be relevant in the future.