

Aus dem Institut für Agrarökologie

U. Dämmgen
M. Lüttich
B. Osterburg
U. Döring

H. Döhler
B. Eurich-Menden
H.-D. Haenel
M. Strogies

Die Analyse von Stickstoff-Flüssen in der Landwirtschaft zum Zweck der Politikberatung und der Berichterstattung - eine Übersicht über Datenflüsse und Datenmanagement. Teil 1. Emissionen

Veröffentlicht in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 291, S. 5-9

Braunschweig

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

2005

Die Analyse von Stickstoff-Flüssen in der Landwirtschaft zum Zweck der Politikberatung und der Berichterstattung – eine Übersicht über Datenflüsse und Datenmanagement. Teil 1. Emissionen

U. Dämmgen¹, H. Döhler², M. Lüttich¹, B. Eurich-Menden², B. Osterburg³, H.-D. Haenel¹, U. Döring⁴ und M. Strogies⁴

Schlüsselwörter: Emissionsinventare, Stickstoff, Stofffluss-Modell, Politikberatung

1 Einleitung

Stickstoff (N) ist der mengenmäßig bedeutendste Bestandteil der landwirtschaftlichen Dünger. Das hohe Leistungsniveau der europäischen Landwirtschaft ist ohne massiven Einsatz von N-Düngern nicht zu halten. Dem steht gegenüber, dass ein erheblicher Teil dieser N-Mengen in Form von Emissionen an die Umwelt abgegeben wird und dort für ökologisch oder toxikologisch unerwünschte Wirkungen verantwortlich ist. Hierzu zählen insbesondere die Emissionen von gasförmigem Lachgas (N₂O), das zum anthropogenen Treibhauseffekt in der Troposphäre und zur Zerstörung des stratosphärischen Ozons beiträgt, und die Emissionen von gasförmigem Ammoniak (NH₃) und Stickstoffmonoxid (NO). Beide tragen zu wesentlichen und unerwünschten Veränderungen der Chemie der Atmosphäre bei (Bildung von Sekundärpartikeln, katalytische Wirkungen, troposphärische Ozon-Dynamik). Nach ihrer Deposition in terrestrische und aquatische Ökosysteme wirken sie versauernd und düngend (eutrophierend). Dies führt zu Nährstoffungleichgewichten, veränderten Konkurrenzbeziehungen und zu Biodiversitäts-Verlusten in naturnahen Ökosystemen. Nitrat-N in den Böden wird ausgewaschen und beeinträchtigt die Trinkwassergewinnung. Auch diese N-Quelle trägt zur Bildung von N₂O bei. Das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) hat das Problem der weltweiten Verteilung und der regionalen Überschüsse von reaktivem N aufgegriffen und erkannt, dass reaktiver N ein Umweltgift sein kann (UNEP, 2004).

Die Minderung der Emissionen stickstoffhaltiger Spezies in die Atmosphäre und die Grund- und Oberflächenwässer bei gleichzeitiger Erhaltung eines hohen Produktionsniveaus in der Landwirtschaft führt notwendigerweise zu Interessenkonflikten innerhalb der Gesellschaft. Wichtige Voraussetzung für die Meinungsbildung und für Entscheidungen ist die Verfügbarkeit von quantitativen Daten zu Vorräten

und Flüssen von Stickstoff-Spezies in landwirtschaftlichen Produktionsprozessen sowie – daraus abgeleitet – die Erkennung von Emissionsminderungspotentialen einschließlich ihrer Bewertung. Es erscheint deshalb selbstverständlich, dass die im Bereich des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) tätigen nachgeordneten Einrichtungen sich dieser Aufgabenstellung widmen.

Die nachfolgende zusammenfassende Darstellung soll einen Überblick über die Vorgehensweise, die Datenströme und die Aktivitäten der BMELV-Einrichtungen zum Thema Emissionsminderung im Bereich der N-Spezies geben und ihre Rolle im nationalen und internationalen Kontext erläutern.

Landwirtschaftliche Emissionsinventare bilden nur diejenigen Stoffströme ab, die unmittelbar mit der landwirtschaftlichen Produktion verbunden sind. Mittelbar verbundene Aktivitäten wie die Herstellung von Mineraldüngern oder der Betrieb von Verbrennungsmaschinen in der Landwirtschaft sind nach den gegenwärtigen Definitionen zu berechnen, aber in der Berichterstattung nicht Gegenstand der landwirtschaftlichen Emissionsinventare (vgl. EMEP/CORINAIR 2005, Kapitel 10 00).

2 Von den Daten zu Beratung und Berichten

Die zentrale Datenbank „Flüsse und Emissionen“ enthält alle Informationen, die zur Berechnung landwirtschaftlicher Emissionen benötigt werden. Sie wird aus dem Stoffflussmodell GAS-EM (Dämmgen et al., 2006) gespeist, das die landwirtschaftlichen Stoffflüsse von Stickstoff und reaktivem Kohlenstoff umfassend so abzubilden versucht, dass alle berichtsrelevanten Emissionen entsprechend den durch die Bundesregierung eingegangenen internationalen Verpflichtungen ermittelt werden können.

¹ Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie (FAL-AOE), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

² Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt

³ Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ländliche Räume (FAL-LR), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

⁴ Umweltbundesamt, Fachgebiet I 4.6 „Emissionssituation“, Postfach 1406, 06813 Dessau

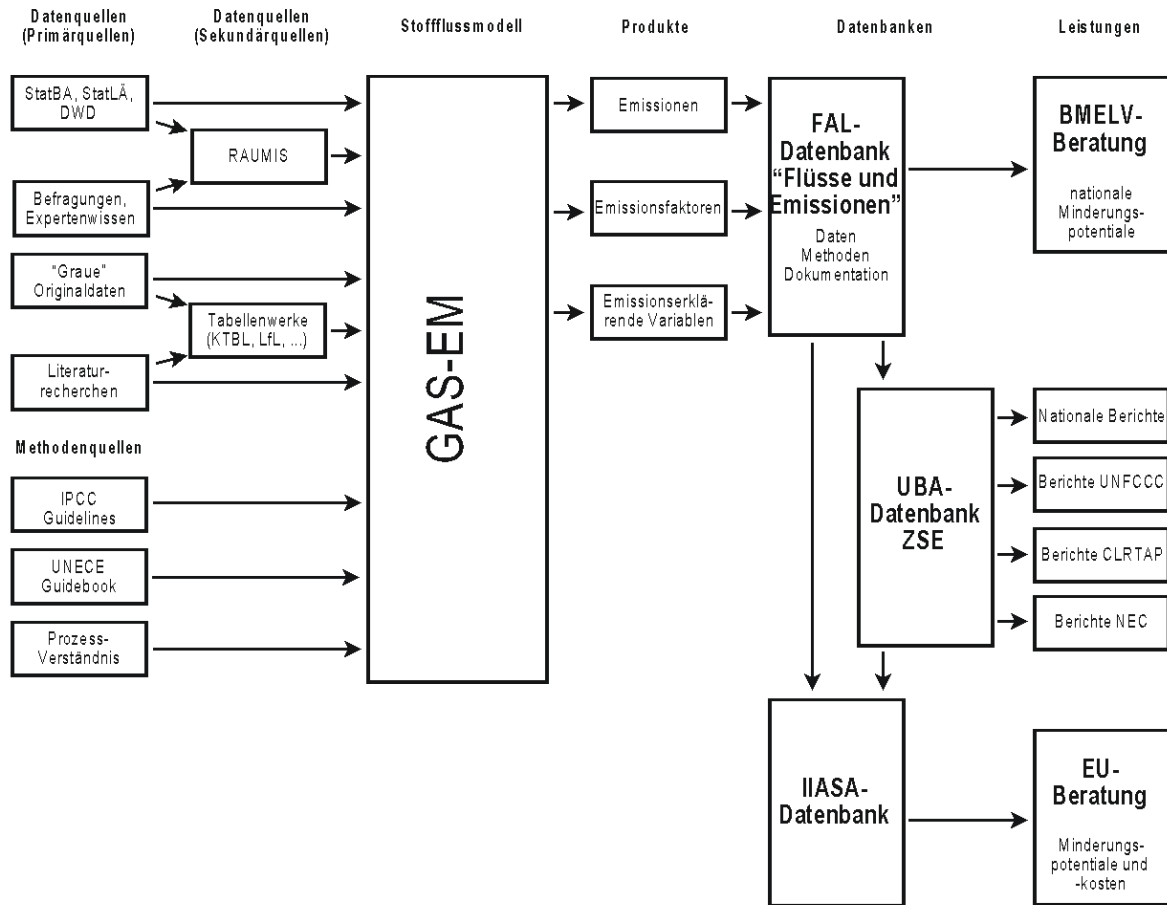


Abbildung 1:
Von den Daten zu Beratung und Berichten

2.1 Datenquellen und Methoden

Die wichtigsten *Datenquellen* sind

- die offiziellen Statistiken zu Tierzahlen und Bestandesstrukturen der Statistischen Landesämter der Bundesländer. Die Erhebungen werden zurzeit alle zwei Jahre durchgeführt. Kreisdaten stehen zur Verfügung. Diese Daten enthalten zum Teil Unstetigkeiten (beispielsweise durch Veränderungen in den Erhebungsmerkmalen oder der Einstellung relevanter Erhebungen), die in geeigneter Weise und konform mit den hierzu erarbeiteten Richtlinien der guten wissenschaftlichen Praxis korrigiert werden müssen (vgl. Dämmgen, 2006).
- die offiziellen Statistiken zur Flächennutzung (Flächennutzungshaupterhebung)
- die offiziellen Statistiken zum Düngemittelabsatz
- ergänzende Erhebungen von emissionserklärenden Daten (Strukturdaten) zur landwirtschaftlichen

Praxis im Detail (Düngerauswahl und Düngetermine, Tierhaltungsverfahren, Lagermöglichkeiten für Wirtschaftsdünger, Art und Zeitpunkt der Wirtschaftsdüngerausbringung) durch Befragungen

- Messungen von Stoffflüssen und Emissionen innerhalb von Forschungsprojekten insbesondere an Universitäten oder Landesanstalten, die nicht oder noch nicht in der allgemein verfügbaren Literatur veröffentlicht sind
- Literaturdaten und deren Zusammenstellungen (z.B. Faustzahlen, 1993, LWK-WE, 1997, und KTBL, 2004)

Ein Teil der erforderlichen Daten ist aus Originaldaten nicht oder nur schwer abzuleiten, insbesondere Häufigkeitsverteilungen von Stallbautentypen, Lagerungsvorrichtungen etc. Das Agrarsektormodell RAUMIS (Heinrichsmeyer et al., 1996) ist in der Lage, auf Grundlage der Ergebnisse ergänzender

Erhebungen emissionserklärender Merkmale konsistente Datensätze für die Jahre zu modellieren, für die eine Flächennutzungshaupterhebung vorliegt.

Die angewendeten **Methoden** wurden zunächst den international verbindlichen Anleitungen entnommen (IPCC, 1996, 2000; EMEP/CORINAIR, 2005), dann aber weiter entwickelt. Die Weiterentwicklung besteht vor allem darin, dass die Stoffflüsse nach dem derzeitigen Prozessverständnis so beschrieben werden, dass Stoffbilanzen erstellt werden können. D.h., alle N-Spezies werden gleichzeitig erfasst und abgebildet. Die Wechselwirkung mit Kohlenstoff-Flüssen wird berücksichtigt. Damit greift das Verfahren einer Entwicklung vor, die sich derzeit bei der Weiterentwicklung der Genfer Luftreinhaltekonvention und der Klimarahmenkonvention als Notwendigkeit herausstellt.

Beiträge des nachgeordneten Bereichs sind die Erstellung von Sekundärdatensammlungen über Emissionsfaktoren (Döhler et al., 2002; Eurich-Menden et al., 2005; Schwab et al., 2005), die Entwicklung von Methoden zur Erhebung emissionserklärender Merkmale (Bergschmidt, 2004) sowie die Hochrechnung von Aktivitätsdaten und die Modellierung von Minderungsstrategien mit Hilfe des Modells RAUMIS (Döhler et al., 2002; Osterburg, 2002). Die Erarbeitung der Methoden zur Emissionsberechnung geschieht national durch FAL-AOE und KTBL in enger Zusammenarbeit mit FAL-TE; Datenmanagement, Verbesserung der Datengrundlage und Projektionen unter Einbeziehung von Minderungskosten werden durch FAL-LR und KTBL erarbeitet. An der Erstellung der Methoden im Rahmen des Atmospheric Emission Inventory Guidebook (EMEP/CORINAIR) ist FAL-AOE direkt beteiligt (Mitarbeit als chairman und panel leader in UN ECE Task Force on Emission Inventories and Projections). KTBL und FAL-AOE arbeiten innerhalb der internationalen Gruppe EAGER an der Methodenentwicklung insbesondere an der Berechnung von Emissionen aus der Tierhaltung (Reidy et al., 2006).

2.2 Stoffflussmodell

Die Flüsse von Stickstoff- und ausgewählten Kohlenstoff-Spezies werden in einem Stoffflussmodell so beschrieben, dass die gesamte landwirtschaftliche Praxis abgebildet werden kann. Wesentlich ist die Einführung der Forderung, dass das Modell zumindest für N bilanzfähig sein muss.

Die landwirtschaftlichen Produktionsverfahren werden dabei in den Untersystemen behandelt, wie dies den Strukturen der Anleitungen entspricht: Die Untersysteme Boden/Pflanze, Metabolismus und Wirtschaftsdünger-Management sind entsprechend den Stoffflüssen miteinander verknüpft. Alle derzeit üblichen Praktiken lassen sich abbilden. Zukünftige Ent-

wicklungen sind prinzipiell im Programm enthalten, so dass Szenarien gerechnet werden können.

Das Modell GAS-EM ist entsprechend den Forderungen der internationalen Berichterstattung als modulares Excel-Programm erstellt, das für jeden Quelltyp einen eigenen Ordner enthält (Systeme Boden/Pflanze mit N-Düngung, Systeme Boden/Pflanze ohne absichtliche N-Düngung, Milchkühe, Kälber, Färsen, usw., Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und Düngekalk). Die Rechenblätter sind untereinander so vernetzt, wie es die Abbildung der Stoffflüsse erfordert (Dämmgen et al., 2006).

Das Modell berechnet aus den gleichen Datensätzen kohärent die Emissionen von

- NH_3 , NO, N_2O , N_2
- CH_4 , NMVOC, CO_2 aus der Düngereinsatzung
- Stäuben (PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$)

Wichtige Indikatorgrößen für andere Modelle, etwa für RAINS am Internationalen Institut für Angewandte Systemanalyse (IIASA) oder für die Berichterstattung nach UNFCCC, werden nach deren Vorgaben berechnet (für landwirtschaftliche Rechnungen z.B. nach Klimont und Brink, 2004).

Damit ist das Stoffflussmodell GAS-EM Vorreiter einer umfassenden Berichterstattung. Es erfüllt bei den meisten Hauptquellgruppen¹ der Tierhaltung die Kriterien der sog. Tier-3-Verfahren nach IPCC.

Das Modell ist in der Lage, die Emissionen einzelner (typischer) Quellen, etwa einzelner landwirtschaftlicher Betriebe, zu schätzen.

Die Entwicklung des Modells GAS-EM ist eine *Gemeinschaftsleistung von Einrichtungen des nachgeordneten Bereichs des BMELV*.

¹ Durch die mit dem Kyoto-Protokoll geregelte Einbeziehung ökonomischer (und damit finanziell bewertbarer) Instrumente ergeben sich völlig neue Anforderungen an die Genauigkeit der zu berechnenden Emissionen. Im Rahmen einer Hauptquellgruppenanalyse werden die wesentlichen Quellen der Treibhausgasemissionen – die nach einem auf CO_2 -Äquivalent-emissionen normierten Ranking insgesamt 95 % der Gesamtemissionen verursachen – ermittelt. Für diese sind dann vorgegebene bzw. dazu vergleichbare sehr detaillierte Berechnungsverfahren (Tier 2 oder 3) anzuwenden. Im Landwirtschaftsbereich betrifft dies: die CH_4 -Emissionen der Rinderhaltung, die CH_4 -Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management bei Rindern und Schweinen sowie die N_2O -Emissionen aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung.

2.3 FAL-Datenbank „Flüsse und Emissionen“

Umfangreiche Datensätze werden zur Beschreibung der Quellen benötigt: Für die Berechnung der Emissionen aus der Milchkuhhaltung in einem Kreis sind mehr als 20 statistische Daten und mehr als 25 als Expertenwissen bezeichnete Datensätze erforderlich. Sofern diese Datensätze nicht konstant sind, werden sie als emissionserklärende Variablen in der Datenbank gespeichert. Die sich aus den Rechnungen ergebenden Emissionsfaktoren, die in Kombination mit den sog. Aktivitätsdaten (etwa Tierzahlen, Anbauflächen, Düngermengen) zu den Emissionen führen, sind ebenso wie die Emissionen selbst in der Datenbank gespeichert. Die überwiegende Menge der Tierhaltungsdaten sind auf Kreisebene verfügbar, alle anderen Daten sind auf Länderebene berechnet. Nur in Ausnahmefällen (z.B. Ziegen-Haltung) sind Datensätze für das Bundesgebiet vorhanden. Solche Datensätze sind für alle Jahre von 1990 bis 2004 erzeugt und dokumentiert (Ausnahme: Pelztiere nur für 2000).

In der Regel werden Kreisdaten auf Länderebene aggregiert und in dieser Form publiziert bzw. den Nutzern zur Verfügung gestellt.

2.4 Die Leistungen

Aus der Kombination des Flussmodells GAS-EM und der Datenbank „Flüsse und Emissionen“ lassen sich Potentiale für das Umlenken von Stoffströmen oder das Verringern von Emissionen ermitteln. Insbesondere lässt sich die Frage klären, wie eine für ein Spurengas ins Auge gefasste Minderungsoption sich auf die Emission anderer Spurengase auswirkt. Die Daten dienen so der Politikberatung aus naturwissenschaftlicher Sicht.

Auslöser zur Entwicklung des Modells und seiner Peripherie war die Notwendigkeit, den internationalen Anforderungen der Emissionsberichtserstattung nachzukommen. Hier besitzt jede Konvention ihre eigenen Berichtsformate. Die in der FAL-Datenbank verwalteten Datensätze werden aufbereitet und an die UBA-Datenbank „Zentrales System Emissionen“ übermittelt, die hieraus die Berichte nach den jeweiligen Formaten erstellt. Berichtet werden die nationalen Daten (Emissionen, Emissionsfaktoren, emissionserklärende Variablen) an

- die Klimarahmenkonvention UNFCCC nach dem Common Reporting Format (CRF)
- die Genfer Luftreinhaltkonvention CLRTAP nach dem New Format for Reporting (NFR)
- die EU im Rahmen der Richtlinie zur Einhaltung nationaler Emissionsobergrenzen (NEC)

Daten mit einer höheren Auflösung („gridded data“, 50 · 50 km²) sowie Daten über gegenwärtige und

zukünftige Entwicklungen bei den Aktivitäten werden im Abstand von 5 Jahren von CLRTAP gefordert.

Wenn sich der Stand des Wissens verbessert hat, so sind konsistente neue Zeitreihen zu berechnen und zu berichten.

Innerhalb von CLRTAP hat das EMEP Centre for Integrated Assessment Modelling (CIAM) am Internationalen Institut für angewandte Systemanalyse (IIASA) die Aufgabe, integrierte Prozessanalysen zu erstellen. Die hierfür benötigten deutschen Datensätze werden teilweise direkt aus der FAL-Datenbank, teilweise aus der UBA-Datenbank geliefert. Zwischen IIASA, UBA und FAL-AOE findet eine rege und vertrauensvolle direkte Zusammenarbeit statt (vgl. Klimont et al., 2005).

3 Ausblick

Wenn Emissionsinventare der Vorbereitung von nationalen und internationalen Entscheidungen dienen sollen, so müssen sie transparent, vergleichbar, vollständig und hinreichend genau sein. Sie müssen wohl dokumentiert und konsistent sein, d.h. die Erstellung von Zeitreihen erlauben. Die hinreichende Genauigkeit umfasst auch die hinreichende räumliche und zeitliche Auflösung der Emissionen. Hier besteht Handlungsbedarf.

Im Einzelnen müssen die noch auf der Ebene der Bundesländer berichteten Emissionen aus der Düngemittelanwendung plausibel auf Landkreise disaggregiert werden. Im Hinblick auf die Witterungsbedingungen und den Nährstoffbedarf der Pflanzen müssen die Ausbringungen der Wirtschafts- und Mineraldünger zeitlich höher aufgelöst werden. Angestrebt wird eine Auflösung auf Monate.

Die Verbesserung der Dokumentation ist ebenso Ziel der künftigen Arbeit wie die Quantifizierung der Unsicherheiten und ihre Verringerung.

4 Literatur

- Bergschmidt A (2004) Entwicklung und Erprobung von Erhebungsmethoden zum Wirtschaftsdüngermanagement in landwirtschaftlichen Betrieben: Projektbericht für ein von EUROSTAT gefördertes Forschungsvorhaben „TAPAS 2003 – Deutschland. Agrarumweltaspekte – Art und Umfang der Ausbringungstechniken für Wirtschaftsdünger in landwirtschaftlichen Betrieben. Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie, 2004/07. <http://www.bw.fal.de/>
- 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 (2006) Berechnungen der Emissionen aus der Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2006 für 2004. Methoden und Daten. Landbauforsch Völknerode Sonderheft 291, 47-222.
- Döhler H, Eurich-Menden B, Dämmgen U, Osterburg B, Lüttich M, Bergschmidt A, Berg W, Brunsch R (2002)

- BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahre 2010. UBA Texte 05/02. Umweltbundesamt, Berlin. 193 S, zzgl. Anhänge
- EMEP/CORINAIR (2002) Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. 3rd ed., EEA, Copenhagen. <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR3/en/page019.html/>
- EMEP/CORINAIR (2004) Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook – 2004. 3rd ed., update. EEA, Copenhagen. <http://tfeip-secretariat.org/unece.htm>
- Eurich-Menden B, Dämmgen U, Döhler H (2005) A collection and analysis of current ammonia research data available in German. In: Final Report to DEFRA of Project AM0123, DEFRA, NRRRA Science Division, London, UK, 35. S.
- Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau (1993). 12. Aufl., Landwirtschaftsverlag, Münster
- 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 – Intergovernmental Panel on Climate Change (1996) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 3. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC WGI Technical Support Unit, Bracknell
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2000) Good Practice Guidance and Uncertainty Measurement in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Technical Support Unit. Hayama
- Klimont Z, Brink C (2004) Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe. Interim Report IR-04-048. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Österreich, 69 S.
- Klimont Z, Webb J, Dämmgen U (2005) Livestock husbandry systems in Europe: evaluation of the 2003 UNECE ammonia expert group questionnaire. In: Kuczynski T, Dämmgen U, Webb J, Myczko A (Hrsg.) Emissions from European agriculture. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 71-96.
- KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.) (2004) Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05. KTBL-Datensammlung. 19. Aufl., Darmstadt: KTBL, 573 S.
- LWK-WE – Landwirtschaftskammer Weser-Ems (1997) Nährstoffvergleich auf Feld-Stall-Basis. § 5 der Düngeverordnung. Hannover
- Osterburg B (2002) Rechnerische Abschätzung der Wirkungen möglicher politischer Maßnahmen auf die Ammoniakemissionen in Deutschland im Jahr 2010. Unveröffentlichte Studie im Auftrag des BMVEL. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume. Braunschweig, April 2002.
- 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)
- Schwab M, Jäger P, Eurich-Menden B, Döhler H, Braun Ch (2005) Methodenaktualisierung für die Emissionsberechnung 2003. F+E Vorhaben 203 412 59 des UFOPLAN 2003. Teilvorhaben 04: EF Landwirtschaft: Landwirtschaft – Ermittlung und Anpassung von Emissionsfaktoren (CRF 4). Schlussbericht für das Umweltbundesamt. KTBL, Darmstadt. 44 S. zzgl. Anhang
- UNEP – United Nations Environmental Programme (2004) The Nitrogen Cascade: Impacts of Food and Energy Production on the Global Nitrogen Cycle. GEO Year Book 2003. UNEP, Nairobi. <http://www.unep.org/geo/yearbook/yb2003/087.htm>