

**Ammoniakemissionen in der Schweiz:  
Neuberechnung 1990-2007  
Prognose bis 2020**

**Emissions d'ammoniac en Suisse:  
Calcul révisé 1990 à 2007  
Prévisions d'ici 2020**

**Ammonia emissions for Switzerland:  
Revised calculation 1990 to 2007  
Previsions until 2020**

Bericht auf Deutsch mit Zusammenfassung auf Französisch und Englisch  
Rapport en allemand avec résumé en français  
Report in German with summary in English

**Bonjour Engineering GmbH  
METEOTEST  
Oetiker+Partner AG  
Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL)**

**Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU),  
Abteilung Luftreinhaltung und NIS, Sektion Luftqualität, 3003 Bern**

Juli 2010

<b>Auftraggeber:</b>	<b>Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Luftreinhaltung und NIS</b>
<b>Beauftragte:</b>	<b>Bonjour Engineering GmbH, Leuenberger Energie und Umweltprojekte, METEOTEST, Oetiker+Partner AG, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft</b>
<b>Finanzierung:</b>	<b>Bundesamt für Umwelt (BAFU)</b>
<b>Autoren und Institutionen:</b>	<b>Thomas Kupper</b> Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), 3052 Zollikofen  <b>Cyrill Bonjour</b> Bonjour Engineering GmbH, 4654 Lostorf  <b>Beat Achermann</b> Bundesamt für Umwelt, Abt. Luftreinhaltung und NIS, 3003 Bern  <b>Fritz Zaucker</b> Oetiker+Partner AG, 4600 Olten  <b>Beat Rihm</b> METEOTEST, 3012 Bern  <b>Aurelia Nyfeler-Brunner</b> Bonjour Engineering GmbH, 4654 Lostorf  <b>Christian Leuenberger</b> Leuenberger Energie und Umweltprojekte, 8005 Zürich  <b>Harald Menzi</b> Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), 3052 Zollikofen

## Inhalt

<b>Zusammenfassung</b> .....	5
<b>Résumé</b> .....	6
<b>Summary</b> .....	7
<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b> .....	8
<b>2 Material und Methoden</b> .....	9
2.1 Landwirtschaftliche Emissionen: Modell und Berechnungsmethoden .....	9
2.1.1 Einführung .....	9
2.1.2 Modellgrundlagen .....	9
2.1.3 Modell Agrammon zur Berechnung der Emissionen .....	12
2.1.4 Erhebung der landwirtschaftlichen Produktionstechnik .....	18
2.1.5 Einzelbetriebliche Berechnung .....	23
2.1.6 Berechnung von mittleren Emissionsfaktoren (Betriebs- und Tierkategorien) .....	23
2.1.7 Hochrechnung der Emissionen auf die Schweiz .....	24
2.2 Eingabedaten .....	25
2.2.1 Tierzahlen .....	25
2.2.2 Landwirtschaftsflächen .....	26
2.2.3 Milchleistung .....	26
2.2.4 Produktionssysteme und –techniken .....	27
2.2.5 Mineralische Stickstoffdünger .....	29
2.2.6 Recyclingdünger .....	29
2.3 Nicht-landwirtschaftliche Ammoniakemissionen .....	30
2.4 Ammoniakemissionen aus natürlichen Quellen in der Schweiz .....	31
2.5 Prognose der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bis 2020 .....	31
2.6 Vergleich der Emissionsfaktoren Kanton Luzern - Region Zentral Schweiz .....	31
<b>3 Resultate</b> .....	32
3.1 Gesamtschweizerische Ammoniakemissionen 2007 .....	32
3.1.1 Gesamtschweizerische Ammoniakemissionen .....	32
3.1.2 Landwirtschaftliche Ammoniakemissionen .....	33
3.1.3 Nicht-landwirtschaftliche Ammoniakemissionen .....	34
3.1.4 Ammoniakemissionen aus natürlichen Quellen in der Schweiz .....	34
3.1.5 Räumliche Verteilung der Emissionen in der Schweiz .....	35

3.2	Entwicklung der Ammoniakemissionen 1990-2007.....	36
3.2.1	Gesamtschweizerische Ammoniakemissionen .....	36
3.2.2	Landwirtschaftliche Ammoniakemissionen .....	37
3.2.3	Nicht-landwirtschaftliche Ammoniakemissionen .....	39
3.3	Prognose der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bis 2020 .....	40
3.4	Vergleich der Emissionsfaktoren Kanton Luzern - Region Zentral Schweiz .....	42
<b>4</b>	<b>Diskussion und Schlussfolgerungen</b> .....	<b>43</b>
4.1	Entwicklung von Produktionstechnik, N-Flüssen, Emissionsfaktoren und Emissionen .....	43
4.1.1	Allgemeines .....	43
4.1.2	Milchkühe .....	43
4.1.3	Mastschweine .....	47
4.1.4	Mastpoulets .....	49
4.2	Zeitreihe der Emissionen im Vergleich zur Zeitreihe der Immissionen .....	51
4.3	Unsicherheiten und deren Auswirkungen .....	54
4.3.1	Eingabeparameter .....	54
4.3.2	Technische Parameter .....	55
4.4	Schlussfolgerungen .....	55
<b>5</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>60</b>
6.1	Umfrage 2007: Anteile fehlender und nicht eindeutiger Einträge .....	60
6.2	Tierzahlen 1990, 1995, 2000, 2002, 2007, 2010 und 2020 .....	65
6.3	Emissionen typischer Einzelbetriebe .....	66
6.3.1	Einleitung .....	66
6.3.2	Milchwirtschaftsbetrieb .....	66
6.3.3	Gemischter Betrieb .....	68
6.4	Entwicklung der mittleren Emissionsfaktoren von 1990, 1995, 2002 und 2007 .....	70
6.4.1	Einleitung .....	70
6.4.2	Milchkühe .....	70
6.4.3	Übrige Rinderkategorien .....	71
6.4.4	Mastschweine .....	71
6.4.5	Übrige Tierkategorien .....	72
6.5	Emissionsfaktoren des Kantons Luzern und der Region Zentral Schweiz .....	73
6.6	Nicht-landwirtschaftliche Ammoniakemissionen der Schweiz im Jahr 2007 .....	76
6.7	Abkürzungen .....	78
6.8	Glossar .....	79

## Zusammenfassung

Die Schweiz ist aufgrund internationaler Abkommen (UNECE) verpflichtet, die Ammoniakemissionen periodisch zu berechnen und über die Resultate Bericht zu erstatten. Das Ziel dieser Abkommen besteht darin, Stickstoffeinträge in natürliche Ökosysteme sowie die Bildung von sekundären Luftschadstoffen und dadurch negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zu vermindern. Die Berechnung der Ammoniakemissionen erfolgte mit Hilfe des Modells Agrammon. Es wurde sowohl für die Quantifizierung der Emissionen von Einzelbetrieben und in einer Anwendung mit zusätzlichen Rechenschritten für die Berechnung der gesamtschweizerischen landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen konzipiert. Das einzelbetriebliche Modell ist mittels Web Oberfläche öffentlich und kostenlos zugänglich.

Die Berechnung der gesamtschweizerischen landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen erfolgte für die Jahre 2007, 2002, 1995 und 1990. Für die Rechnungen 2007 und 2002 wurden die relevanten produktionstechnischen Parameter mittels Umfragen ermittelt. Die verwendete repräsentative Stichprobe der Betriebe war in 32 Klassen aufgeteilt (3 Regionen, 4 Höhenstufen, 5 Betriebstypen). Insgesamt wurden die Daten von 3133 Betrieben (2007) und 1950 Betrieben (2002) ausgewertet. Für jeden Betrieb der Stichprobe wurden die Ammoniakemissionen mit dem Modell Agrammon berechnet. Die resultierenden mittleren Emissionsfaktoren (Stickstoffmenge pro Nutztier, die in Form von Ammoniak emittiert wird) für 24 Nutztierkategorien jeder Betriebsklasse wurden mit den Gesamtanzahlen der Schweiz hochgerechnet. Zusätzlich erfolgte die Berechnung der Emissionen aus dem Pflanzenbau, aus nicht-landwirtschaftlichen sowie aus natürlichen Quellen. Die produktionstechnischen Parameter der Emissionsrechnungen für 1990 und 1995 basieren auf Angaben aus der Literatur und Expertenannahmen.

Im Jahr 2007 wurde aus der Landwirtschaft 49.0 kt Stickstoff ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) als Ammoniak emittiert. Mit einem Anteil von 94 % war sie Hauptverursacherin der gesamten Ammoniakemissionen (52.3 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ ). Innerhalb der Landwirtschaft trug die Tierproduktion mit 90 % (43.9 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ ; Anteil Rindvieh: 71 %; Anteil Schweine 13 %) am stärksten zu den Emissionen bei. Die Verluste aus dem Pflanzenbau lagen bei 5 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ . Gesamtschweizerisch waren die Hofdüngerausbringung sowie Stall/Laufhof (47 % bzw. 34 % der Emissionen der Tierhaltung) die wichtigsten Emissionsstufen. Rund 2.8 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$  bzw. 5 % der Gesamtemissionen stammten aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen (Industrie/Gewerbe, Verkehr, Haushalte, Abfallbewirtschaftung). Die natürlichen Emissionen betragen 0.5 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$  bzw. 1 % der Gesamtemissionen.

Die gesamten anthropogenen Emissionen nahmen zwischen 1990 und 2007 um 13 % und die landwirtschaftlichen Emissionen um 14 % ab. Die Abnahme der Emissionen des Rindviehs betrug 10 % und derjenigen der Schweine 24 %. Die Emissionen von Geflügel lagen 2007 um 2 % tiefer, diejenigen von Pferden und übrigen Equiden sowie von Kleinwiederkäuern um 98 % bzw. 4 % über dem Stand von 1990. Die Weideemissionen nahmen zwischen 1990 und 2007 um 96 % und die Emissionen aus Stall/Laufhof um 44 % zu. Die Anteile der Hofdüngerlager- und Hofdüngerausbringungsemissionen gingen um 21 % bzw. 30 % zurück. Die Emissionen von Punktquellen (Stall/Laufhof und Lager) betragen im Jahr 1990 39 % und im Jahr 2007 50 % der landwirtschaftlichen Emissionen.

Der Verlauf der Emissionen aus der Tierproduktion lässt sich weitgehend mit der Entwicklung der Tierbestände und den Veränderungen der Produktionstechnik erklären, die vor allem auf die neue Agrarpolitik und die darin enthaltenen Massnahmen zugunsten des Tierwohls zurückzuführen sind. Die seit dem Jahr 2000 durchgeführten Immissionsmessungen stehen nicht im Widerspruch zu den modellierten Emissionen ab 2002. Verbleibende Unterschiede in der Bewertung der Ammoniakemissionen aus emissions- oder immissionsseitiger Sicht sollen künftig vertieft analysiert werden.

## Résumé

Sur la base d'accords internationaux (UNECE), la Suisse est obligée de calculer périodiquement les émissions d'ammoniac et d'en rapporter les résultats. Ces accords visent à diminuer l'apport en azote dans les écosystèmes naturels ainsi que la formation de polluants gazeux secondaires, afin également d'en réduire les impacts sur la santé humaine. Le calcul des émissions d'ammoniac se fait en Suisse par le modèle Agrammon. Ce modèle a été développé dans le but de quantifier les émissions des exploitations individuelles. Il utilise cependant une application qui permet également la détermination des émissions d'ammoniac totales provenant de l'agriculture. Le modèle pour le calcul des émissions issues d'exploitations individuelles est accessible sur internet. Son utilisation est publique et gratuite.

Le calcul des émissions d'ammoniac totales provenant de l'agriculture suisse a été effectué pour les années 2007, 2002, 1995 et 1990. Pour 2007 et 2002, les paramètres importants liés aux techniques de production ont été répertoriés à l'aide d'enquêtes menées auprès des exploitants et/ou des propriétaires. L'échantillon représentatif des exploitations est divisé en 32 classes (3 régions, 4 zones d'altitude, 5 types d'exploitation). Au total, les données de 3133 exploitations (2007) et de 1950 exploitations (2002) ont été récoltées. Pour chaque exploitation de l'échantillon, les émissions ont été calculées avec le modèle Agrammon. Les facteurs d'émissions moyens qui en ont résulté (soit la quantité d'azote relâchée sous forme d'ammoniac par chaque animal) pour 24 catégories d'animaux de rente de chaque classe d'exploitations ont été extrapolés au nombre total d'animaux de rente en Suisse. En outre, les émissions provenant de la production végétale, des sources non-agricoles et naturelles ont aussi été calculées. Les paramètres liés aux techniques de production utilisés pour le calcul des émissions de 1990 et de 1995 sont basés sur des données issues de la littérature ainsi que sur le jugement d'experts.

En 2007, les émissions d'ammoniac provenant de l'agriculture étaient de 49.0 kt d'azote ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ). L'agriculture est la source principale des émissions d'ammoniac suisses (52.3 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ ) avec 94% des émissions totales. Au sein de l'agriculture même, la production animale représente la source majeure avec 90% des émissions agricoles (43.9 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ , dont 71 % proviennent des bovins et 13% des porcs). Les émissions provenant de la production végétale se montent à 5 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ . Au niveau suisse et toujours en 2007, l'épandage des engrais de ferme ainsi que les stabulation/parcours extérieurs constituent des sources majeures, soit respectivement 47 % et 34 % des émissions provenant de la production animale. Environ 2.8 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ , soit 5 % des émissions totales, sont dues aux sources non agricoles (industrie/artisanat, trafic, ménages, gestion des déchets). Les émissions naturelles constituaient 0.5 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ , soit 1 % des émissions totales.

Entre 1990 et 2007, les émissions anthropogènes totales ont diminuées de 13 % et les émissions agricoles de 14 %. La réduction des émissions des bovins représente 10 % et celle des porcs 24 %. En 2007, les émissions de la volaille ont diminuées de 2 % par rapport à 1990. Cependant, celles des chevaux et autres équidés ont augmentées de 98 % et celles des petits ruminants de 4 %. Les émissions provenant des pâturages et celles issues de la stabulation et des parcours extérieurs ont quant à elles augmenté respectivement de 98% et de 44 %. La part des émissions produites par le stockage des engrais de ferme ont diminué de 21% et celles issues de leur épandage de 30 %. En 1990, les émissions dues aux sources ponctuelles (stabulation et du parcours extérieur, stockage des engrais de ferme) représentaient 39 %. Elles ont augmenté et représentent 50 % des émissions agricoles en 2007.

L'évolution des émissions issues de la production animale s'explique en grande partie par le développement des cheptels et les modifications des techniques de production. Ces dernières sont surtout liées à la nouvelle politique agricole, y compris les mesures pour le bien-être des animaux. Les mesures des immissions effectuées depuis 2000 concordent avec les émissions modélisées depuis 2002. Les quelques différences persistantes lors de la comparaison des émissions d'ammoniac issues et les immissions seront analysées de manière approfondie.

## Summary

In the framework of international agreements (UNECE), Switzerland is committed to periodically calculate the ammonia emissions and to report the results. The aim of these agreements is to reduce the nitrogen inputs into natural ecosystems as well as the generation of secondary air pollutants which can have an impact on human health. The calculation of the ammonia emissions was carried out by means of the model Agrammon. It was designed to quantify the emissions of individual farms and can, with some additional steps, also be used to determine the total agricultural ammonia emissions for Switzerland. The model which calculates the emission of individual farm is accessible via a web surface. The utilization is public and free of charge.

The calculation of the total agricultural ammonia emissions of Switzerland was carried out for 2007, 2002, 1995 and 1990, respectively. For the calculations of 2007 and 2002, the relevant farm management parameters were assessed on the basis of representative stratified surveys which included 32 farm classes (three geographical regions and four altitude zones, five farm types). In total, data from 3133 farms (2007) and 1950 farms (2002) were evaluated. For each farm included in the sample, the ammonia emissions were individually calculated by means of the model Agrammon. The resulting average emission factors (i.e. the amount of nitrogen per animal emitted as ammonia) was extrapolated for 24 livestock categories of each farm class. Additionally, the emissions from plant production, from anthropogenic non-agricultural and natural sources were calculated. The relevant farm management parameters for 1990 and 1995 were based on data obtained from literature and on expert judgments.

In 2007, 49.0 kt of nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) were emitted from agriculture as ammonia. With a portion of 94%, agriculture was the major source of the total ammonia emissions (52.3 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ ). Within the agricultural emissions, livestock production contributed with 90% the most important portion of the emissions (i.e. 43.9 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ ; portion cattle: 71%; portion pigs 13%). The losses from plant production were at 5 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ . At the national level, application of manure and housing/exercise yard were the most important emission stages contributing 47% and 34%, respectively, of the emissions from livestock. About 2.8 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$  or 5% of total emissions originated from non-agricultural sources (industry/craft industry, traffic, private households, manure management). The emissions due to natural sources reached 0.5 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$  or 1% of the total emissions.

Total anthropogenic emissions decreased by 13% and the agricultural emissions by 14% between 1990 and 2007. In this period, the decline of the emissions was 10% for cattle, 24% for pigs and 2% for poultry. Ammonia emissions increased by 98% for horses and other equids and by 4% for small ruminants, respectively. Emissions originating from grazing increased by 96% and from housing/exercise yard by 44%. The proportions of the emissions from manure storage and manure application were reduced by 21% and 30%, respectively. The contribution of emissions from point sources (housing/exercise yard and manure storage) relative to the total agricultural emissions was 39% in 1990 and 50% in 2007, respectively.

The development of the emissions from livestock can be explained mostly by the trends of the number of livestock and changes in the production technique which were mainly affected by the new agricultural policy and the measures for improving animal welfare included therein. The results of immission measurements carried out since 2000 do not conflict with the emissions modeled since 2002. Divergences in the interpretation of the ammonia emissions resulting from an immission and emission orientated approach, respectively, will be further studied in the future.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Die Ammoniakemissionen der Quellengruppen Landwirtschaft, Verkehr, Industrie/Gewerbe, Abfallbewirtschaftung und Haushalte sind zusammen mit den Stickoxid-Emissionen aus der Verbrennung fossiler und biogener Brenn- und Treibstoffe hauptverantwortlich für das Vorkommen und die Bildung von reaktiven Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre. Diese Verbindungen werden über unterschiedlich grosse Distanzen verfrachtet, nehmen an chemischen Reaktionen in der Atmosphäre teil und werden schliesslich in ihrer ursprünglichen oder in umgewandelter Form über die verschiedenen Depositionspfade in Böden und Oberflächengewässer eingetragen. So tragen sie wesentlich zur Versauerung und Eutrophierung von empfindlichen Ökosystemen bei (z.B. Wälder, Hochmoore, artenreiche Naturwiesen, Heidelandschaften), mit vielfältigen Langzeit-Auswirkungen auf Vegetation und Fauna (Biodiversität) sowie deren Struktur und Funktion. Stickstoffverbindungen sind auch von grosser Bedeutung bei der Bildung des bodennahen Ozons und weiterer Photooxidantien, die vor allem während Sommersmogepisoden in erhöhten Konzentrationen auftreten. Diese Folgeschadstoffe haben Auswirkungen auf die Vegetation und die menschliche Gesundheit. Stickstoffverbindungen tragen überdies zur Bildung sekundärer Aerosole bei, die Bestandteil des lungengängigen Feinstaubes sind.

Zuverlässige Inventare der Emissionen und ihre Zuordnung zu Quellengruppen sind unerlässlich, um die ablaufenden Prozesse in der Umwelt verstehen, quantifizieren und modellieren zu können. Messungen der Umweltbelastungen ergänzen die Inventarisierung der Emissionen und geben Hinweise, ob und inwieweit die Emissionen den Quellengruppen korrekt zugeordnet sind. Die Schweiz ist sowohl aufgrund der nationalen Gesetzgebung (USG, LRV) als auch aufgrund internationaler Abkommen (UNECE) verpflichtet, die Belastung der Umwelt mit Luftschadstoffen zu erheben und über den Stand der Emissionen und Immissionen regelmässig Bericht zu erstatten. Sowohl die Emissions- als auch die Immissionsdaten helfen, den Handlungsbedarf betreffend Minderung der Belastungen gezielt beurteilen zu können.

Der vorliegende Bericht informiert über das Vorgehen zur Quantifizierung der landwirtschaftlichen und nicht-landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen. In Anlehnung an die Vorgaben des internationalen Handbuchs zur Erstellung von Emissionsinventaren (EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook) wurde zur Quantifizierung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen die vorgeschlagene detaillierte Methodik auf der Grundlage eines Stickstoffflussmodells angewendet. Damit können die Emissionen prozessorientiert von der Stickstoff-Ausscheidung der Tiere über die Stallhaltung, die Hofdüngerlagerung und die Hofdüngerausbringung abgebildet werden. Nur mit einem solchen Ansatz kann der Einfluss von produktionstechnischen Parametern eines Betriebs auf die Emissionen wiedergegeben werden. Das sowohl für einzelbetriebliche als auch für die gesamtschweizerische Anwendung entwickelte Modell Agrammon ist der grundlegende Baustein für die Berechnung der Ammoniakemissionen. Das Modell ist ein Hilfsmittel, mit dem der aktuelle Stand und die Veränderung der Emissionen im Falle von strukturellen und produktionstechnischen Anpassungen auf einem Betrieb evaluiert werden können. Es kann so zur Entscheidungsfindung im Zusammenhang mit der Planung von emissionsmindernden Massnahmen dienen, hat aber keinesfalls den Status eines rechtsverbindlichen Vollzugsinstruments.

Neben einem zuverlässigen Berechnungsmodell sind aber auch die Qualität der verfügbaren Inputdaten und die Methodik der Hochrechnung der Emissionen auf die Schweiz von grosser Bedeutung. Eine Hochrechnung der Emissionen auf die Schweiz wurde für die Jahre 2007, 2002, 1995 und 1990 durchgeführt. Aufgrund der unterschiedlichen Verfügbarkeit von Grundlegenden Daten kamen verschiedene Verfahren zur Anwendung. Der Bericht gibt zu diesen Verfahren und zu den Ergebnissen für die Zeitreihe der Emissionen von 1990 bis 2007 detailliert Auskunft.

Das Emissionsberechnungsmodell Agrammon für landwirtschaftliche Einzelbetriebe ist direkt übers Internet zugänglich ([www.agrammon.ch](http://www.agrammon.ch)) und umfassend dokumentiert. Es bildet so eine Plattform, die allen zugänglich ist und die in Bezug auf die Abbildung und Parametrisierung der emissionsrelevanten Prozesse regelmässig dem Stand des Wissens angepasst werden kann.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Landwirtschaftliche Emissionen: Modell und Berechnungsmethoden

#### 2.1.1 Einführung

Das Modell Agrammon ist als Instrument zur Berechnung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen und zur Beurteilung des Einflusses von Änderungen von Struktur und Produktionstechnik auf die Emissionen entwickelt worden. Es kann für die Quantifizierung der Emissionen eines Einzelbetriebs eingesetzt werden und richtet sich für diese Anwendung an die landwirtschaftliche Beratung, die betroffenen Behörden und die landwirtschaftliche Praxis. Via Web-Oberfläche<sup>1</sup> ist es kostenlos zugänglich. Weiter wird das Modell zur Erstellung des gesamtschweizerischen Ammoniak-Emissionsinventars im Rahmen der Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (LRTAP, UNECE) verwendet. Dazu sind im Vergleich zur einzelbetrieblichen Modellrechnung zusätzliche Datengrundlagen und Rechenschritte erforderlich, welche nicht allgemein zugänglich sind. Die Modellgrundlagen und die Modellrechnungen sind jedoch für beide Anwendungsbereiche identisch.

Das Modell entspricht den Anforderungen des internationalen Handbuchs zur Erstellung von Emissionsinventaren (EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook). Die Modellgrundlagen basieren auf dem aktuellen Stand der Kenntnisse. Sie sind dokumentiert und online zugänglich<sup>1</sup>. Das Modell kann in Zukunft regelmässig dem neuesten Stand der Kenntnisse angepasst werden.

#### 2.1.2 Modellgrundlagen

Die Grundlage für die Berechnung der Ammoniakemissionen mittels Agrammon bildet ein Stickstoffflussmodell. Ausgehend von der in den Exkrementen der Nutztiere enthaltenen Stickstoffmenge (N) bildet das Modell den Stickstofffluss über die Emissionsstufen Tierhaltung (Weide, Stall/Laufhof), Hofdüngerlager (flüssig und fest), Hofdüngerausbringung (flüssig und fest) ab. Die Emissionen beim Einsatz von mineralischen N-Düngern und Recyclingdüngern im Pflanzenbau sowie jene der landwirtschaftlichen Nutzfläche werden ebenfalls berücksichtigt (Abbildung 1).

Für die Emissionen ist nicht in erster Linie der gesamte von den Tieren ausgeschiedene Stickstoff ( $N_{\text{tot}}$ ) relevant, sondern vor allem der lösliche Stickstoff (TAN; Englisch: Total Ammoniacal Nitrogen). Dieser bildet sich rasch aus dem mit dem Urin ausgeschiedenen Harnstoff bei gleichzeitiger Anwesenheit von festen Exkrementen (Kot). Bei den Emissionsstufen Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlager, Hofdüngerausbringung werden die Ammoniakverluste mittels Emissionsraten in Prozent des durchfliessenden löslichen Stickstoffs berechnet. Für die Güllelagerung wird davon ausgegangen, dass Ammoniak von der Gülleoberfläche unabhängig des Füllstands des Lagerbehälters freigesetzt wird. Daher kommt für diese Emissionsstufe eine Emissionsrate proportional zur Oberfläche des Güllelagers zur Anwendung ( $\text{g N pro m}^2$ ). Bei der Mistlagerung wird zusätzlich die Immobilisierung eines gewissen Anteils des TAN und bei der Güllelagerung die Mineralisierung von organisch gebundenem Stickstoff zu TAN berücksichtigt.

Im Pflanzenbau geht ein gewisser Anteil des mit Mineral- bzw. Recyclingdünger ausgebrachten Stickstoffs als Ammoniak verloren. Die Emissionsrate wird in Prozent der Menge des ausgebrachten Gesamtstickstoffs bzw. an löslichem Stickstoff ausgedrückt. Schliesslich führen auch

---

<sup>1</sup> <http://www.agrammon.ch/>

Vorgänge in Pflanzen und Böden zu Ammoniakemissionen. Die Emissionsrate wird als kg Ammoniakstickstoff pro Hektare landwirtschaftlicher Nutzfläche ausgedrückt.

Als Ergebnis der Modellrechnung resultieren der Stickstofffluss und die Ammoniakemissionen eines Betriebes in kg N bzw. kg NH<sub>3</sub>-N pro Jahr.

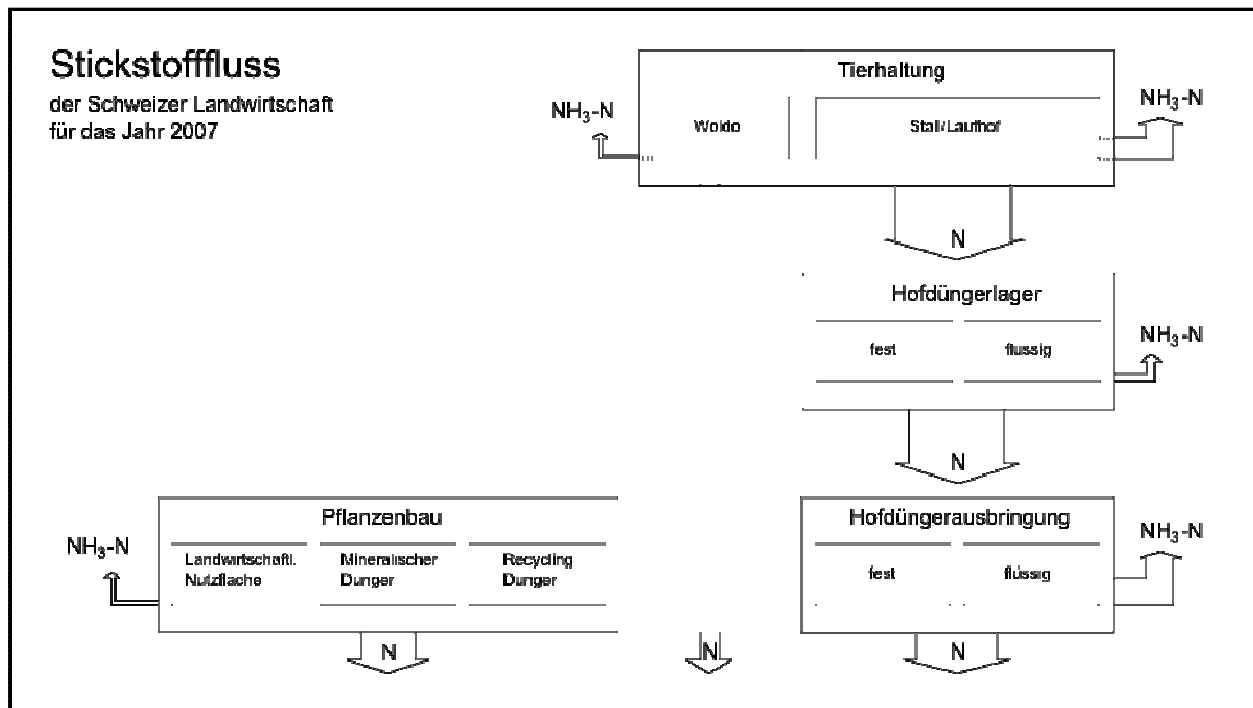


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Stickstoffflusses und der Ammoniakemissionen der Schweizer Landwirtschaft für das Jahr 2007.

Die Grundlage des Modells bilden die Beschreibungen der emissionsrelevanten Prozesse innerhalb des Betriebs. Technische Parameter wie die Stickstoffausscheidungen der Tierkategorien, die Emissionsraten sowie Korrekturfaktoren<sup>2</sup>, welche den Einfluss produktionstechnischer Parameter abbilden, beeinflussen die Emissionen. Die berücksichtigten Tierkategorien sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Stickstoffausscheidungen dieser Tierkategorien wurden von den Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF; Fleisch et al., 2009) übernommen. Die Emissionsraten stellen ausser beim Hofdüngerlager den Anteil des Stickstoffflusses (in %) dar, der innerhalb einer Emissionsstufe als Ammoniak emittiert wird. Die Korrekturfaktoren passen die Emissionsraten aufgrund von produktionstechnischen Grössen an. Zum Beispiel führt die feste Abdeckung eines Güllelagers zu einer Verminderung der Ammoniakemissionen von der Gülleoberfläche im Vergleich zu einem offenen Lager. Die Emissionsraten und die Korrekturfaktoren basieren auf wissenschaftlichen Versuchen in der Schweiz sowie wissenschaftlichen Daten aus dem Ausland. Sie wurden soweit möglich und sinnvoll auf die von der UNECE vorgeschlagenen Werte abgestimmt (UNECE 2007). Daten aus dem Ausland wurden wo nötig für die Bedingungen in der Schweiz angepasst. Falls in der Fachliteratur keine detaillierten Angaben verfügbar waren, kamen Expertenschätzungen zur Anwendung. Eine Liste der im Modell verwendeten technischen Parameter mit Angabe der Grundlagen zu deren Herleitung ist online verfügbar<sup>3</sup>. Die Werte der technischen Parameter sind festgelegt und können bei der Anwendung des Modells nicht verändert werden.

<sup>2</sup> Liste der technischen Parameter verfügbar unter <http://agrammon.ch/downloads>

<sup>3</sup> <http://agrammon.ch/downloads> (Technische Parameter Modell Agrammon; Dokumentation Technische Parameter Modell Agrammon)

Zur Berechnung der Ammoniakemission eines landwirtschaftlichen Betriebes werden betriebs-spezifische Angaben zur Anzahl der Tiere, zu Fütterung, Weide, Aufstallung, Laufhof, Hofdüngerlager, Hofdüngerausbringung, Einsatz von mineralischen N-Düngern und Recyclingdünger sowie zur landwirtschaftlichen Nutzfläche benötigt. Diese Eingabeparameter basierten für die Erstellung des Ammoniakemissionsinventars der Schweiz auf Daten aus Umfragen zur landwirtschaftlichen Produktionstechnik oder wurden von andern Grundlagen hergeleitet, soweit keine Daten aus Umfragen verfügbar waren (vgl. Kap. 2.1.4).

Tabelle 1: Im Modell Agrammon berücksichtigte Tierkategorien (Tierkategorien gemäss BFS: vgl. Anhang 6.1)

<b>Rindvieh</b> Milchkühe* Aufzuchtrinder unter 1-jährig** Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig** Aufzuchtrinder über 2-jährig** Masttiere (Rindviehmast)*** Mastkälber Mutterkühe Mutterkuhkälber	<b>Schweine</b> Galtsauen Säugende Sauen Ferkel abgesetzt bis 25 kg Eber Mastschweine	<b>Geflügel</b> Legehennen Junghennen Mastpoulets Masttruten Anderes Geflügel
<b>Pferde und übrige Equiden</b> Pferde über 3-jährig Pferde unter 3-jährig Maultiere und Maulesel jeden Alters, Ponies, Kleinpferde und Esel jeden Alters	<b>Kleinwiederkäuer</b> Schafe Milchschafe Ziegen	

\*ohne Mutterkühe; \*\*inkl. Aufzuchtrinder der Mutterkühe; \*\*\* inkl. Kategorie Ausmastkühe

## 2.1.3 Modell Agrammon zur Berechnung der Emissionen

### 2.1.3.1 Modell-Architektur

Um die Nachvollziehbarkeit der Berechnungen ebenso wie die längerfristige Wartbarkeit des Modells Agrammon sicherzustellen, mussten die folgenden Vorgaben beim Design und bei der Implementierung der Agrammon Software berücksichtigt werden:

1. Die Modell-Algorithmen sind in einer Form dokumentiert, die für Wissenschaftler ohne spezielle Ausbildung in Software-Entwicklung und Programmierung verständlich ist.
2. Die Konsistenz der Dokumentation und der Implementierung ist sichergestellt, insbesondere auch während Veränderungs- und Entwicklungsprozessen des Modells.
3. Das Modell kann mit minimalem Programmieraufwand verbessert und erweitert werden.
4. Veränderungen der Modell-Struktur und der zugrunde liegenden Prozesse sind nachvollziehbar dokumentiert.

Durch diese Bedingungen ist sichergestellt, dass die Simulationsergebnisse über die gesamte Nutzungsdauer des Modells anhand der zugrunde liegenden wissenschaftlichen Prozessbeschreibungen interpretiert und nachvollzogen werden können.

Um diese Ziele zu erreichen, wurde die in Abbildung 2 dargestellte Architektur definiert und wie folgt implementiert:

- a) Die einzelnen im Modell Agrammon enthaltenen Prozesse werden in Text-Dateien beschrieben und dokumentiert (Module).

Während die Dokumentation in fast beliebiger Struktur erstellt werden kann, wird für die mathematische Beschreibung der Prozesse eine klar definierte „maschinenlesbare“ Struktur verwendet. Die Formeln werden in der (in einzelnen Aspekten vereinfachten) Syntax der Programmiersprache Perl beschrieben.

- b) Ein ebenfalls in Perl implementiertes Programm (Parser) liest die einzelnen Module ein und generiert anhand der darin beschriebenen Abhängigkeiten automatisch
  - ein ausführbares Simulations-Programm
  - Einlese Routinen (Input-Parser) für die technischen Parameter und für Eingabeparameter.
  - ein Web-Frontend (Benutzer-Interface) zur Bedienung des Einzelbetriebsmodells (Eingabe von Eingabeparametern, eigentliche Berechnung sowie Darstellung der Resultate).
  - eine druckbare Dokumentation aller Prozessbeschreibungen.
- c) Alle beschriebenen Komponenten des Modells Agrammon werden mit einem Versionsverwaltungsprogramm (Revision Control System) gespeichert, so dass Änderungen an allen Elementen jederzeit nachvollzogen und allenfalls auch rückgängig gemacht werden können.

Alle beschriebenen Komponenten werden zur Laufzeit des Modells erzeugt, sodass Änderungen am Modell ohne Programmieraufwand einzig durch Modifikation der Modellbeschreibungsdateien möglich sind und unmittelbar genutzt werden können. Die Modellentwickler können sich daher auf die Umsetzung der wissenschaftlichen Aspekte der Simulation konzentrieren.

Weitere Details zum Modell Agrammon sind auf der Agrammon-Website dargestellt<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> <http://agrammon.ch>

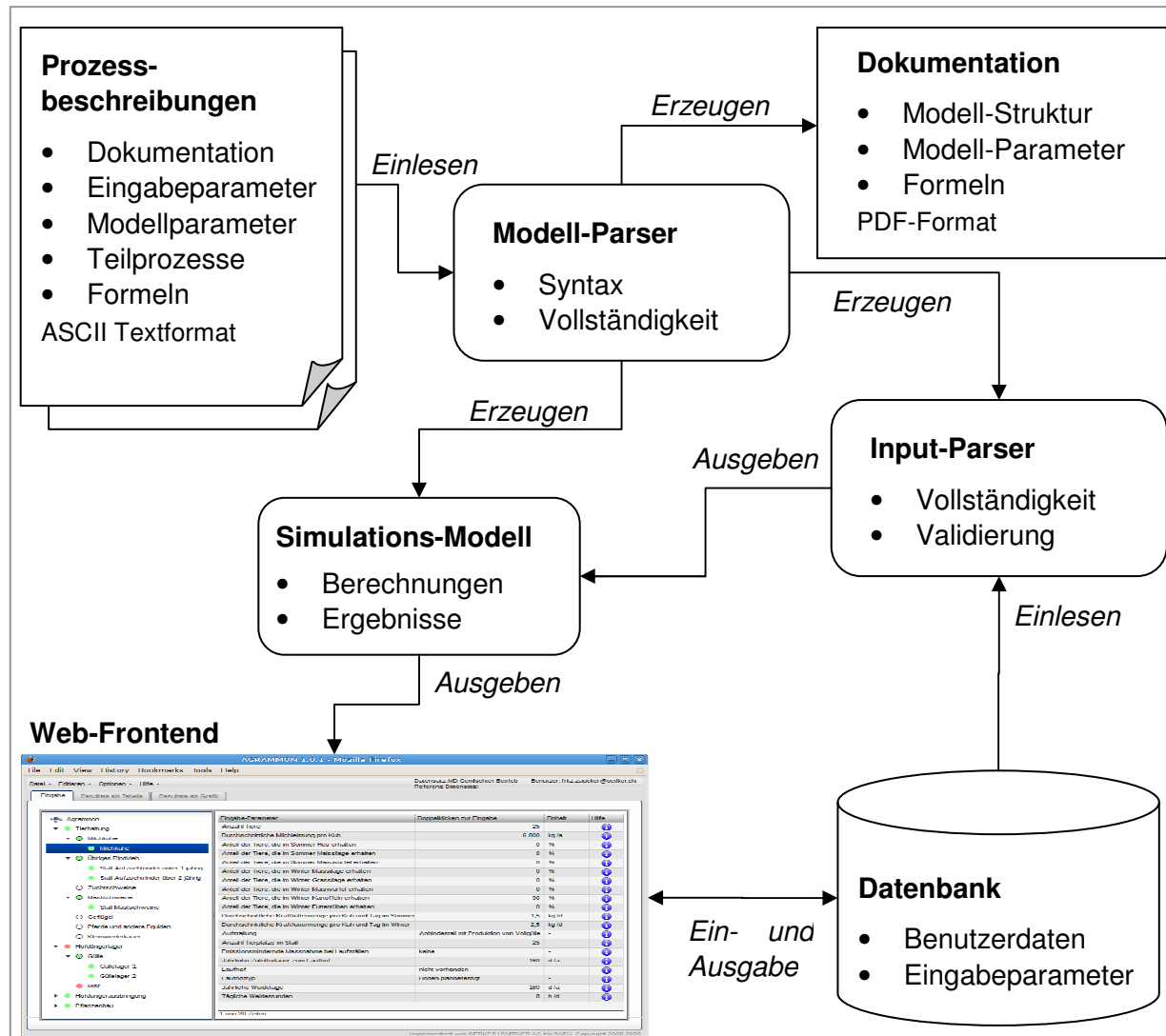


Abbildung 2: Schematische Darstellung der verschiedenen Komponenten des Einzelbetriebsmodells. Der Modell-Parser liest die Prozessbeschreibungen ein und erzeugt daraus einerseits das eigentliche Simulations-Modell und die Einleseschnittstelle (Input-Parser) für die Berechnung und andererseits die Benutzerschnittstelle (Web-Frontend) für die Eingabe und Speicherung (Datenbank) der Betriebsparameter und die Anzeige der Simulationsergebnisse. Ausserdem kann auch die Dokumentation (in PDF-Format) aus den Prozessbeschreibungen generiert werden.

### 2.1.3.2 Einzelbetriebsmodell

Das Einzelbetriebsmodell ist als Web-Applikation implementiert. Dadurch können neue Modellversionen zentral installiert und damit unmittelbar und gleichzeitig allen Benutzern zur Verfügung gestellt werden, ohne Notwendigkeit einer aufwändigen Software-Verteilung und Installation. Durch den Einsatz moderner Web 2.0 Technologien konnte eine Benutzer-Schnittstelle implementiert werden, die einen vergleichbaren Komfort bietet wie lokal auf dem Arbeitsplatz-rechner installierte Software.

Der Zugang zum Modell Agrammon erfolgt über <http://agrammon.ch/public>. Um Betriebsdatensätze speichern zu können, ist eine Authentisierung mit Benutzername (eMail-Adresse) und Passwort notwendig.

Die Eingabe der Eingabeparameter erfolgt in tabellarischen Masken, auf die mittels einer hierarchischen Navigation gemäss der Modellstruktur zugegriffen werden kann (Abbildung 3). Innerhalb der meisten Modellbereiche können vom Benutzer selbst Kategorien angelegt werden

(z.B. Stallungen mit spezifischen Nutztierkategorien), sodass ein bestimmter landwirtschaftlicher Betrieb möglichst realitätsnah abgebildet werden kann. Rechnungen können nur durchgeführt werden, wenn alle in der Eingabemaske aufgeführten Kategorien vollständig ausgefüllt sind. Rote Markierungen zeigen an, wo Eingaben fehlen (vgl. Abbildung 3).

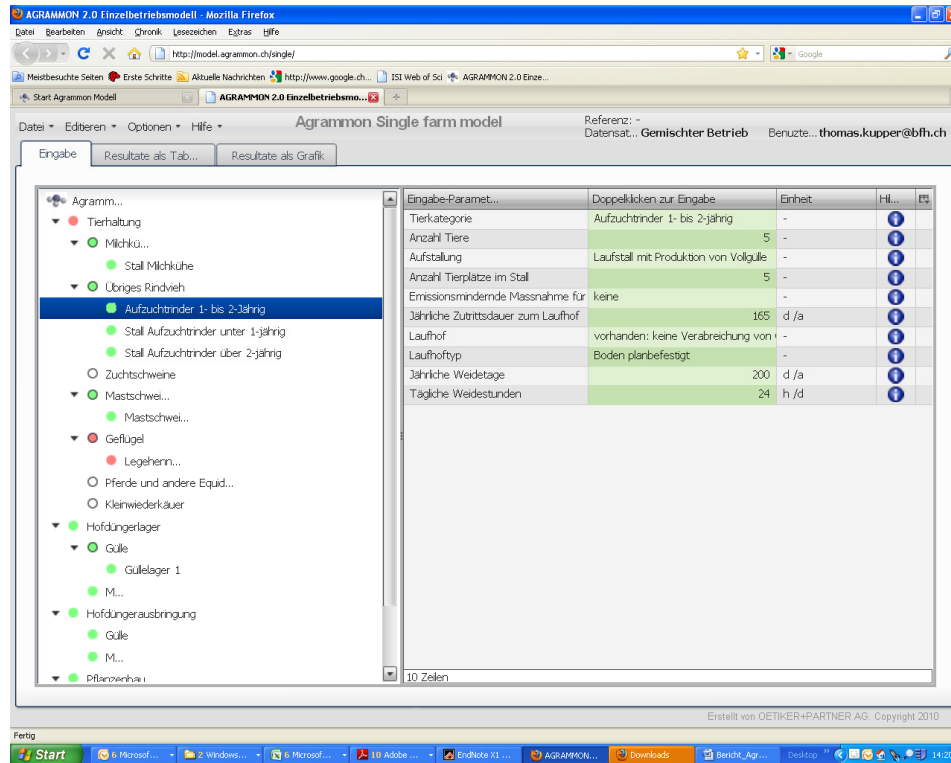


Abbildung 3: Navigationsleiste und Eingabemaske.

Zur Speicherung der Eingabeparameter dient ein auf dem Server installiertes Datenbanksystem, das es jedem Benutzer ermöglicht, beliebig viele Betriebsdatensätze zu erstellen und zu verwalten. Abbildung 4 zeigt das Fenster zur Verwaltung und Auswahl von Datensätzen.

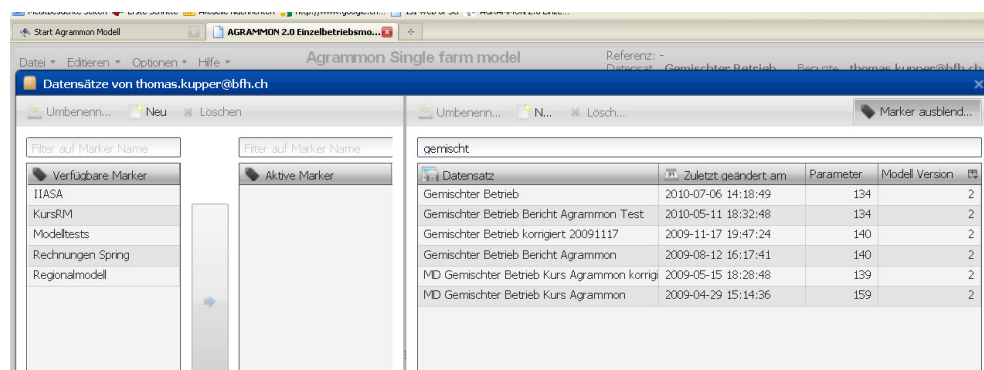


Abbildung 4: Datensatz-Bearbeitung und Auswahl.

Sobald alle Eingabeparameter vollständig eingegeben sind, kann die Berechnung der Emissionen serverseitig durchgeführt werden. Die Resultate werden automatisch an die Web-Applikation übertragen und können dort in verschiedenen tabellarischen und graphischen Darstellungen angezeigt werden (Abbildung 5 und Abbildung 6).

The screenshot shows the AGRAMMON 2.0 Einzelbetriebsmodell software interface. The title bar reads 'AGRAMMON 2.0 Einzelbetriebsmodell - Namoroka'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'View', 'History', 'Bookmarks', 'Tools', and 'Help'. The main window title is 'AGRAMMON 2.0 Einzelbetriebs...'. Below the title bar, there are tabs for 'Eingabe', 'Resultate als Tabelle', and 'Resultate als Grafik'. The current view is 'Resultate als Tabelle'. The table is titled 'Ammoniak-Emissionen (in kg N pro Jahr) - Zusammenfassung'. The table has four columns: 'Modul', 'Variable', 'Wert', and 'Einheit'. The data is organized into sections for 'Tierproduktion' and 'Pflanzenbau', with a 'Total' row at the bottom. The total ammonia emission is 1.413 kg N/a. At the bottom of the window, there are buttons for 'Mit Excel öffnen' and 'PDF Report', and a footer that reads 'Erstellt von OETIKER+PARTNER AG. Copyright 2010'.

Modul	Variable	Wert	Einheit
Tierproduktion	Weide NH3-Emission	25	kg N /a
	Stall und Laufhof NH3-Emission	497	kg N /a
	Hofdüngerlagerung NH3-Emission	41	kg N /a
	... Hofdüngerlagerung flüssig NH3-Emission	31	kg N /a
	... Hofdüngerlagerung fest NH3-Emission	10	kg N /a
	Hofdüngerausbringung NH3-Emission	807	kg N /a
	... Hofdüngerausbringung flüssig NH3-Emission	804	kg N /a
	... Hofdüngerausbringung fest NH3-Emission	2	kg N /a
	Total Tierproduktion NH3-Emission	1.370	kg N /a
Pflanzenbau	Mineralischer Stickstoffdünger NH3-Emission	3	kg N /a
	Recyclingdünger NH3-Emission	0	kg N /a
	Landwirtschaftliche Nutzfläche NH3-Emission	40	kg N /a
	Total Pflanzenproduktion NH3-Emission	43	kg N /a
	Total	Total NH3-Emission	1.413

Abbildung 5: Beispiel einer tabellarischen Darstellung der berechneten Ammoniakemissionen.

Dabei ist wahlweise auch der Vergleich der Resultate von zwei verschiedenen Datensätzen möglich (z.B. Vergleich der Ammoniakemissionen eines landwirtschaftlichen Betriebs vor und nach Umsetzung einer betrieblichen Veränderung oder auch ein Vergleich mit vordefinierten Beispielbetrieben).

Durch eine Export-Funktion der Resultate und der zugehörigen Betriebsparameter sind eigene Auswertungen und Darstellungen möglich.

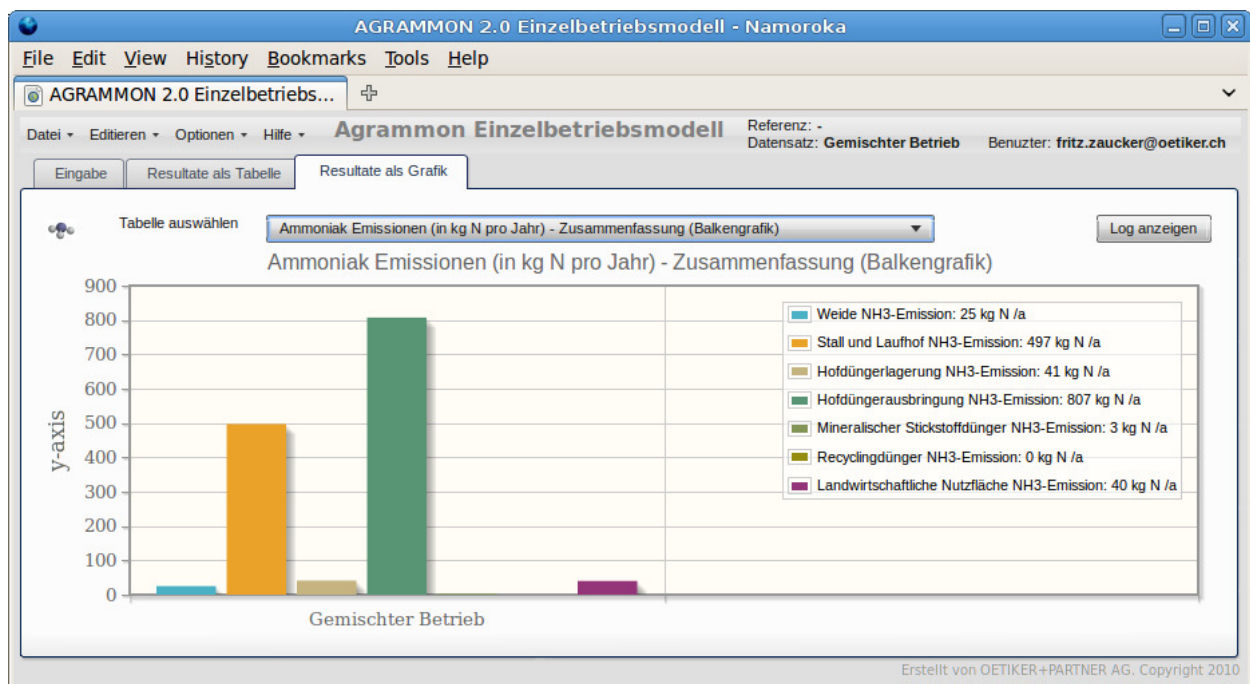
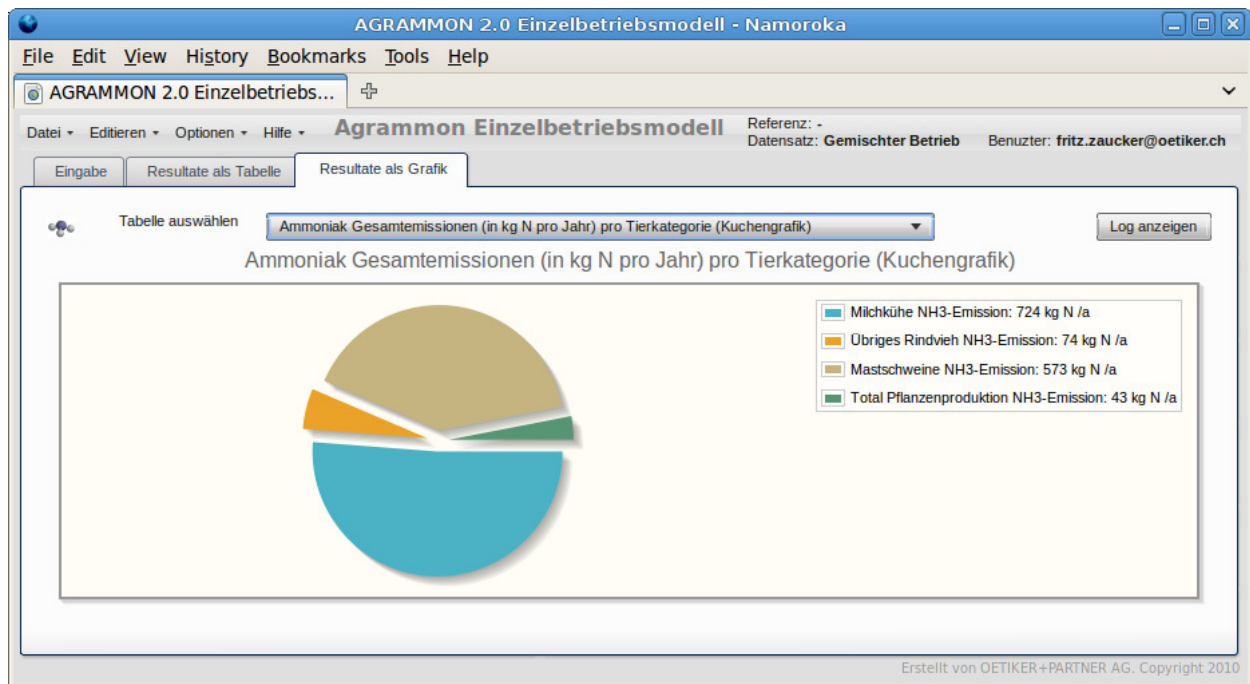


Abbildung 6: Beispiele der grafischen Darstellung der berechneten Ammoniakemissionen.

### 2.1.3.3 Hochrechnungen

Das Modell Agrammon kann auch in einem „Offline“-Modus betrieben werden (nicht öffentlich zugänglich), wobei Datensätze von Betriebsparametern entweder aus der Agrammon-Datenbank oder auch aus separat bereitgestellten Dateien eingelesen werden können (diese). Dadurch ist es z.B. möglich, aus Umfrage-Daten erstellte Betriebsdatensätze automatisch zu verarbeiten, ohne diese einzeln über das Benutzer-Interface eingeben zu müssen. Die Resultate solcher Einzelbetriebsrechnungen können elektronisch weiter verarbeitet werden.

Mit dem bestehenden Modell ist es möglich, die über 3000 Einzelbetriebsrechnungen, auf denen beispielsweise die Hochrechnung von 2007 beruht (vgl. Kap. 2.1.4.2, 2.1.7), auf einem modernen PC-Arbeitsplatzrechner in weniger als einer Stunde durchzuführen. Durch Optimierungen der Modell-Implementierung kann diese Rechenzeit wahrscheinlich noch deutlich reduziert werden, so dass umfangreiche Szenarien- und Variantenrechnungen möglich sein werden.

### 2.1.3.4 Betrieb und Support

Das Modell Agrammon ist auf einem Server installiert, der bei einem professionellen Internet-Service-Provider ans Internet angeschlossen ist. Für technische und fachliche Anfragen durch die Benutzer des Modells stehen zwei eMail-Adressen zur Verfügung. Um den Support-Aufwand minimal zu halten, können neue Benutzer-Konten (Benutzername und Passwort) vom Benutzer selbst über das Web-Interface erstellt werden.

### 2.1.3.5 Verwendete Technologien

Das Modell Agrammon ist vollständig mit Opensource-Software-Komponenten implementiert, sodass für den Betrieb keine Software-Lizenzkosten anfallen:

- Programmierung:
  - Web-Frontend: JavaScript-Framework Qooxdoo: <http://qooxdoo.org>
  - Backend: Programmiersprache Perl: <http://www.perl.org>
- Server-Dienste:
  - Betriebssystem Ubuntu Linux: <http://www.ubuntu.com/>
  - Datenbank-System PostgreSQL: <http://www.postgresql.org>
  - Webserver Apache: <http://httpd.apache.org>
  - Revision Control System Subversion: <http://subversion.tigris.org/>

## **2.1.4 Erhebung der landwirtschaftlichen Produktionstechnik**

### **2.1.4.1 Einleitung**

Zuverlässige Berechnungen zur Erstellung eines Ammoniakemissionsinventars verlangen genaue Kenntnisse der relevanten produktionstechnischen Einflussgrössen. Um betriebstypenspezifische und regionale Eigenschaften berücksichtigen zu können, sind Datengrundlagen für verschiedene Betriebsklassen notwendig. Diese wurden mittels repräsentativer Umfragen zur Erhebung von emissionsrelevanten Angaben hinsichtlich Betriebsstrukturen und Produktionstechnik beschafft. Die Umfragen erfolgten am Ende der Jahre 2007 und 2002. Für die Jahre 1995 und 1990 waren keine gleichwertigen Daten zur Produktionstechnik verfügbar. Für die Charakterisierung der Produktionstechnik dieser Jahre wurden für die meisten Angaben Annahmen getroffen. Das Vorgehen zur Erhebung der landwirtschaftlichen Produktionstechnik wird in den folgenden Kapiteln beschrieben.

### **2.1.4.2 Umfrage 2007**

Die Umfrage erfolgte mittels per Post verschickter Fragebogen. Eine nach Betriebsklassen geschichtete Stichprobe von 6565 zufällig ausgewählten Betrieben, welche vom Bundesamt für Statistik (BFS) erhoben wurde, bildete die Grundlage. Die Schichtung erfolgte gemäss Potterat (2004). Die Grösse der Stichprobe entsprach 10.7 % der Landwirtschaftsbetriebe der Schweiz, welche folgende Kriterien erfüllten: Betriebe mit mindestens 10 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) oder 6 ha offene Ackerfläche (OA) oder 1 ha Spezialkulturen oder 6 Kühe oder 40 Stück anderes Rindvieh oder 20 Pferde oder 50 Schafe oder 50 Ziegen oder 25 Mutterschweine oder 200 andere Schweine oder 1500 Stück Geflügel. 10774 Betriebe, welche diese Kriterien nicht erfüllten, wurden nicht in die Stichprobe einbezogen. Dies entspricht 17 % der im Jahr 2006 vom BFS erfassten 62830 Betriebe.

Die erforderliche minimale Anzahl Betriebe für eine Betriebsklasse wurde auf 20 festgelegt. Unter der Annahme einer Rücklaufquote von 40 % der Fragebogen (d.h. 80 % der Rücklaufquote der Umfrage zur landwirtschaftlichen Produktionstechnik von 2002; Reidy et al., 2008) wurde die minimale Anzahl der angeschriebenen Betriebe pro Betriebsklasse auf 50 gesetzt. Die Schichtung der Betriebsklassen wurde so angelegt, dass die Ammoniakemissionen entsprechend dem Betriebs- und Hofdüngermanagement und differenziert für Betriebstypen, geographischen Regionen und Höhenstufen abgebildet werden konnten (Tabelle 2). Betriebsklassen, welche die minimale Anzahl Betriebe nicht erreichten, wurden vom BFS zusammengefasst. Die Höhenstufen 2 und 3 wurden zusätzlich für folgende Betriebstypen zur Höhenstufe 4 zusammengelegt: Betriebstyp 1 und 4 der geographischen Region 1 sowie Betriebstyp 4 der geographischen Regionen 2 und 3.

Die ausgefüllten Fragebogen wurden nach der Rücksendung von Hand auf Vollständigkeit kontrolliert. Danach verblieben zur Auswertung 3212 Fragebogen (49 % der verschickten Fragebogen). Nach einer weiteren Überprüfung, welche das Vorhandensein der Aktivitätsdaten (v.a. Tierzahlen und LN) aus der landwirtschaftlichen Betriebsdatenerhebung des BFS (BFS, 2009), sowie Mindestanforderungen betreffend Betriebsgrösse, Angaben zu Aufstallung, Hofdüngerlager und –ausbringung für wichtige Tierkategorien beinhaltete, verblieben 3133 auswertbare Datensätze, was 48 % der verschickten Fragebogen entspricht.

Die Bestimmung der Anzahl auswertbarer Datensätze pro Betriebsklasse zeigte, dass sieben der neun Betriebsklassen des Betriebstyps „Übrige Betriebe“ weniger als die minimal erforderliche Anzahl von 20 Datensätzen erreichten. Deshalb wurden diese neun Betriebsklassen zu einer gemeinsamen Betriebsklasse 100 zusammengelegt. Für die Auswertung resultierten so 32 Betriebsklassen (Tabelle 3).

Tabelle 2: Schichtung der Betriebe für die Umfrage nach a) drei geographischen Regionen, b) drei Höhenstufen und c) fünf Betriebstypen

a) Geographische Region (Kantone)		b) Höhenstufen <sup>a</sup>		
1 Ost Schweiz : GR, SG, AR, AI, TG, SH, ZH, SZ, UR, GL		1 Talregion (VIKA 11, 21, 22)		
2 Zentral Schweiz : AG, BL, BS, LU, ZG, OW, NW, SO, BE		2 Hügelregion (VIKA 41, 51)		
3 West/Süd Schweiz: JU, NE, VD, FR, GE, VS, TI		3 Bergregion (VIKA 52, 53, 54)		
c) Betriebstypen	OAF <sup>b</sup> /LN <sup>c</sup>	RiGVE <sup>d</sup> /GVE <sup>e</sup>	SG <sup>f</sup> /GVE	Betriebstypologie <sup>g</sup>
1 Pflanzenbaubetriebe	>70%	-	-	11 bis 16
2 Rindviehhaltungsbetriebe	<25%	>75%	-	21-23
3 Schweine-/Geflügelbetriebe	<25%	-	>50%	42, 43, 53
4 Gemische Betriebe	>40%	>75%	-	51, 52, 55, 56
5 Übrige Betriebe	-	-	-	31, 44, 57

<sup>a</sup> Gemäss Definition des Bundesamtes für Landwirtschaft der "Viehwirtschaftskataster-Klassen (VIKA)". Für gewisse Betriebsklassen wurden die Höhenstufen 2 und 3 vereinigt zur Höhenstufe 4 (vgl. Text oben)

<sup>b</sup> Offene Ackerfläche

<sup>c</sup> Landwirtschaftliche Nutzfläche

<sup>d</sup> Grossvieheinheit Rinder

<sup>e</sup> Grossvieheinheit

<sup>f</sup> Schweine- und Geflügel-Grossvieheinheit

<sup>g</sup> Betriebstypologie gemäss Meier (2000)

Zur Überprüfung der Repräsentativität der auswertbaren Datensätze wurden wichtige Grössen (durchschnittliche LN, mittlerer Nutztierbestand in GVE) mit der Grundgesamtheit innerhalb der einzelnen Klassen verglichen (Tabelle 3). Für die Mehrheit der Klassen stimmte die mittlere LN und die Anzahl GVE der auswertbaren Datensätze relativ gut mit der Grundgesamtheit überein. Abweichungen von mehr als 20 % wurden vor allem in Klassen festgestellt, in denen der Anteil der Betriebe an der Grundgesamtheit relativ klein war (kleiner als der über alle Betriebsklassen berechnete Median der prozentualen Anteile LN und GVE der Stichprobe). Weiter ist zu berücksichtigen, dass die Stichprobe nur Betriebe enthielt, welche die oben aufgeführten Anforderungen an die Mindestgrösse erfüllten. Deshalb liegt die mittlere landwirtschaftliche Nutzfläche und die mittlere Anzahl GVE der ausgewerteten Betriebe in den meisten Fällen über den gemittelten Werten der Grundgesamtheit. Die Resultate der vorliegenden Auswertung weisen darauf hin, dass die aus der Umfrage resultierenden Datensätze eine repräsentative Stichprobe der Grundgesamtheit darstellen.

Tabelle 3: Charakterisierung der Betriebsklassen zur Auswertung der Umfrage 2007. Die zwei Spalten rechts zeigen die mittlere landwirtschaftliche Nutzfläche und die mittlere Anzahl GVE der ausgewerteten Datensätze in Prozent der gemittelten Werte der Grundgesamtheit

Betriebsklasse	Geograph. Region	Betriebstyp	Höhenstufe	Umfang der Stichprobe (Anzahl Betriebe)	Datensätze zur Auswertung (Anzahl Betriebe)	Rücklauf der Fragebogen (% der verschickten Fragebogen)	Anteil LN in % der Grundgesamtheit	Anteil GVE in % der Grundgesamtheit	Mittelw. der LN der Betriebe der Stichprobe in % der gemittelten LN der Grundgesamtheit	Mittelw. der GVE der Betriebe der Stichprobe in % der gemittelten GVE der Grundgesamtheit
1	Ost Schweiz	Pflanzenbaubetrieb	Tal	129	66	47.7	3.0	0.5	130	194
2		Pflanzenbaubetrieb	Hügel/Berg	49	21	43.1	0.1	0.0	116	57
3		Rindviehhaltungsbetrieb	Tal	236	122	50.6	4.1	5.0	105	103
4		Rindviehhaltungsbetrieb	Hügel	163	91	56.6	3.8	4.1	98	96
5		Rindviehhaltungsbetrieb	Berg	500	260	51.7	8.3	7.1	112	106
6		Schweine-/Geglügelbetrieb	Tal	268	144	54.6	1.5	5.4	121	92
7		Schweine-/Geglügelbetrieb	Hügel	101	51	47.7	0.5	1.5	118	99
8		Schweine-/Geglügelbetrieb	Berg	68	35	48.2	0.4	0.9	118	90
9		Gemischer Betrieb	Tal	198	120	59.5	4.8	4.6	99	102
10		Gemischer Betrieb	Hügel/Berg	45	31	72.3	0.3	0.2	111	107
11	Zentral Schweiz	Pflanzenbaubetrieb	Tal	136	59	38.4	2.6	0.5	117	210
12		Pflanzenbaubetrieb	Hügel	50	24	50.0	0.1	0.0	116	130
13		Rindviehhaltungsbetrieb	Tal	167	89	52.3	2.0	2.6	111	119
14		Rindviehhaltungsbetrieb	Hügel	460	230	49.0	6.9	7.5	105	102
15		Rindviehhaltungsbetrieb	Berg	350	157	43.8	6.7	6.1	105	103
16		Schweine-/Geglügelbetrieb	Tal	433	262	59.0	3.9	8.8	113	102
17		Schweine-/Geglügelbetrieb	Hügel	227	142	61.0	2.6	5.4	101	98
18		Schweine-/Geglügelbetrieb	Berg	47	24	51.7	0.5	0.8	106	113
19		Gemischer Betrieb	Tal	354	212	59.7	6.6	6.5	100	97
20		Gemischer Betrieb	Hügel/Berg	109	56	52.7	2.4	2.1	97	90
21	West/Süd Schweiz	Pflanzenbaubetrieb	Tal	535	208	38.6	6.3	0.8	105	194
22		Pflanzenbaubetrieb	Hügel	85	32	40.4	0.3	0.0	90	184
23		Pflanzenbaubetrieb	Berg	87	21	24.5	0.2	0.0	153	273
24		Rindviehhaltungsbetrieb	Tal	70	32	47.0	1.0	1.1	96	98
25		Rindviehhaltungsbetrieb	Hügel	189	92	50.0	3.3	3.5	106	102
26		Rindviehhaltungsbetrieb	Berg	217	103	48.0	6.2	4.6	112	108
27		Schweine-/Geglügelbetrieb	Tal	106	39	39.2	1.1	2.2	108	85
28		Schweine-/Geglügelbetrieb	Hügel	68	24	35.5	0.5	1.2	139	102
29		Schweine-/Geglügelbetrieb	Berg	33	20	46.3	0.2	0.3	112	114
30		Gemischer Betrieb	Tal	442	173	37.8	5.9	4.9	103	109
31		Gemischer Betrieb	Hügel/Berg	71	28	35.1	2.0	1.6	110	106
100	*	Übrige Betriebe	**	572	165	28.9	12.	9.9	223	244
Tot				6'565	3'133	47.8	100	100	-	-

\* alle geographischen Regionen der Schweiz; \*\* alle Höhenstufen

### 2.1.4.3 Plausibilisierung der Datensätze der Umfrage 2007

Die aus der Umfrage resultierenden Datensätze wurden in eine Datenbank eingelesen. Bei diesem Schritt wurden verschiedene Tests hinsichtlich Vollständigkeit und Plausibilität durchgeführt. In einem ersten Schritt wurde die Übereinstimmung der auf dem Betrieb gemäss landwirtschaftlicher Betriebsdatenerhebung des BFS (BFS, 2009) vorhandenen Tierkategorien mit den Einträgen in den Fragebogen überprüft. Bei fehlenden Einträgen im Fragebogen wurden Standardwerte eingesetzt. Gemäss Vorgaben des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2006) wurden fehlende Parameter, welche einen signifikanten Einfluss auf die Emissionen haben, durch Werte ersetzt, die tendenziell eine Überschätzung der Emissionen bewirken. So wurde etwa bei einem fehlenden Eintrag beim Hofdüngerlager ein Lager ohne Abdeckung angenommen oder bei fehlenden Angaben zur Gülleausbringtechnik der Einsatz eines Pralltel-

lers. Weiter erfolgte bei Doppelseinträgen die Zuordnung eines eindeutigen Werts. Wurden beispielsweise auf einem Betrieb Tiere der gleichen Tierkategorie in zwei verschiedenen Stallsystemen gehalten, war für beide Stallsysteme ein Eintrag erforderlich. Auch in diesen Fällen wurde der für die Auswertung verwendete Wert so gewählt, dass eher eine Über- als eine Unterschätzung der berechneten Emission resultierte. Bei fehlenden Angaben zum Verbrauch von mineralischen N-Düngern erfolgte eine vereinfachte Berechnung der Nährstoffbilanz aufgrund des verfügbaren Stickstoffs in den Hofdüngern und des Bedarfs des Graslands und der offenen Ackerflächen (vgl. Kap. 2.2.5). Eine Dokumentation der durchgeführten Schritte zur Plausibilisierung der Daten ist online<sup>5</sup> verfügbar.

Zusätzlich erfolgte für die Datensätze der Umfrage 2007 eine Auswertung hinsichtlich des Anteils fehlender und nicht eindeutiger Einträge (d.h. derjenigen Datensätze, welche die Plausibilisierung durchlaufen). Die Kenntnis diesbezüglich ist deshalb von Bedeutung, weil bei der Plausibilisierung zwangsläufig Annahmen getroffen werden müssen, welche mit der Realität nicht in jedem Fall übereinstimmen. Weiter gibt der Anteil fehlender und nicht eindeutiger Einträge Hinweise hinsichtlich der Richtigkeit und Zuverlässigkeit der Dateneingabe durch die Befragten. Folgende Bereiche wurden für die Auswertung einbezogen:

- Rindvieh: Aufstallung, Laufhof (Typ, Oberfläche des Laufhofs, Zutrittsdauer), Weide (Anzahl Stunden pro Tag bzw. Tage pro Jahr), Fütterung (Raufutter, Kraffutter)
- Schweine: Aufstallung, Proteingehalt des Futters
- Geflügel: Aufstallung, Freilandauslauf, Aussenklimabereich, Tränkesysteme, Entmistungsintervall
- Hofdüngerlager: Volumen, Tiefe, Häufigkeit des Aufrührens von Gülle, Verdünnung der Gülle, Abdeckung der Güllebehälter
- Hofdüngerausbringung: Ausbringtechnik für Gülle, Einarbeitung von Mist nach der Ausbringung, Jahreszeit bei der Ausbringung von Gülle und Mist, Ausbringen von Gülle im Acker und Futterbau, Ausbringmenge von Gülle, Berücksichtigung von Tageszeit und Witterung bei der Ausbringung von Gülle
- Stickstoffhaltige Mineraldünger: Verbrauch, Anteil Harnstoff

Eine detaillierte Zusammenstellung der Anteile fehlender, nicht eindeutiger oder fehlerhafter Einträge ist in Anhang 6.1 aufgeführt. Die wichtigsten Resultate der Auswertung sind wie folgt:

- Alle Nutztierkategorien: Aufstallung, Laufhof, Weide:
  - Der durchschnittliche Anteil fehlender Einträge pro Fragebogen lag im Bereich von 10 bis 40%. Die Anteile waren tendenziell höher bei Tierkategorien, deren Bestände variabel und je nach Zeitpunkt der Erhebung nicht klar definierbar sind (z.B. Aufzuchttrinder, Masttiere). Folgende Kategorien von Fragen wiesen überdurchschnittlich hohe Anteile fehlender Einträge auf: Weidedauer bei Pferden und anderen Equiden sowie Freilandauslauf bei Geflügel.
  - Der Anteil nicht eindeutiger Einträge hing von der Fragestellung ab. Bei Fragen, welche je nach Betrieb eine Mehrfachnennung erforderten (z.B. Aufstallung Rindvieh bei Vorliegen mehrerer Aufstallungssysteme), kamen durchschnittliche Anteile nicht eindeutiger Einträge von bis gegen 50 % vor. Bei Fragen ohne Mehrfachnennung (z.B. Weidetage) betrug der Anteil nicht eindeutiger Einträge wenige Prozent.
  - Der Anteil fehlender Einträge lag bei kleinen Betrieben tendenziell höher. Der Anteil nicht eindeutiger Einträge bei Fragen mit erforderlicher Mehrfachnennung verhielt sich umge-

---

<sup>5</sup> <http://agrammon.ch/downloads> (Prüfung auf Plausibilität und Korrektur der Datensätze der Umfrage zur Abschätzung von Ammoniakverlusten 2007; Dokument in Englisch)

- kehrt, da grössere Betriebe tendenziell häufiger mehrere Systeme aufwiesen (z.B. mehrere Aufstallungssysteme).
- Die Summe der Anteile fehlender, nicht eindeutiger und fehlerhafter Einträge, welche die Plausibilisierung durchliefen, lag im Mittel bei rund 15% der Einträge pro Fragebogen.
  - Hofdüngerlagerung:
    - Die Summe der mittleren Anteile fehlender und nicht eindeutiger Einträge betrug im Mittel weniger als 10 % der Einträge pro Fragebogen (Ausnahmen: Gülleverdünnung: ca. 15%; Abdeckung der Güllebehälter: ca. 20 %). Bei der Abdeckung der Güllebehälter waren Mehrfachnennungen möglich, welche hauptsächlich beim Eintrag „Schwimmschicht“ vorkamen.
    - Betriebe mit einem grossen Lagervolumen wiesen tendenziell weniger fehlende oder fehlerhafte Einträge und mehr nicht eindeutige Einträge auf.
  - Hofdüngerausbringung:
    - Die Summe der mittleren Anteile fehlender und nicht eindeutiger Einträge bei der Ausbringung von Gülle lag zwischen 5 und 15% (Ausnahme Eintrag Berücksichtigung der Tageszeit beim Ausbringen von Gülle: Anteil von 30 %).
    - Die Summe der mittleren Anteile fehlender und nicht eindeutiger Einträge bei der Einarbeitung von Mist betrug 40%. Die entsprechenden Anteile der übrigen Einträge unter Ausbringung von Mist lagen unter 10% (Ausnahme: Jahreszeit bei Ausbringung von Geflügelmist).
    - Auch vermeintlich fehleranfällige Einträge (z.B. Rubriken, welche eine Addition auf 100% erforderten) wiesen einen niedrigen Anteil fehlender oder fehlerhafter Einträge auf.
  - Verbrauch von Mineraldüngern:
    - Der Anteil fehlender Einträge Verbrauch von Mineraldüngern lag bei ca. 15%. Der Anteil fehlerhafter Einträge hinsichtlich Verwendung von Harnstoff betrug weniger als 1%.

Insgesamt betragen die mittleren Anteile fehlender, nicht eindeutiger und fehlerhafter Einträge rund 10 % pro Fragebogen. Dieser Anteil wird als moderat betrachtet, welcher die Eingabeparameter als Grundlage zur Berechnung der Emissionsfaktoren in verhältnismässig geringem Ausmass beeinflusst. Zudem waren wichtige Kategorien (Aufstallung, Laufhof, Weide von Milchkühen und Mastschweinen) von Fehleinträgen verhältnismässig weniger betroffen.

#### **2.1.4.4 Umfrage 2002**

Die Methodik der Umfrage 2002 erfolgte analog zu derjenigen von 2007. Die Eckdaten der Umfrage sind wie folgt: Für die Umfrage wurden 3877 zufällig ausgewählte Betriebe angeschrieben. Der Betriebstyp „Übrige Betriebe“ wurde nicht berücksichtigt. Die Grösse der Stichprobe entsprach rund 7 % der Landwirtschaftsbetriebe der Schweiz. Die Rücklaufquote lag bei rund 50 %. Aus der Umfrage resultierten 1950 auswertbare Datensätze. Weitere Informationen sind in Reidy und Menzi (2006) sowie Reidy et al. (2008) enthalten.

#### **2.1.4.5 Erhebung der Daten für 1995 und 1990**

Für die Charakterisierung der Produktionstechnik der Jahre 1995/90 wurden folgende Grundlagen beigezogen: Resultate der Zusatzerhebungen des BFS zur landwirtschaftlichen Betriebszählung 1999/2003 (Meyre et al., 2000; Saxer et al., 2004), Zahlen des Bundesamtes für Landwirtschaft zur Teilnahme der Betriebe an den Programmen zu besonders tierfreundlichen Haltungssystemen nach RAUS-Verordnung (Bundesamt für Landwirtschaft, 2009), Annahmen nach Reidy und Menzi (2006) und Menzi et al. (1997) sowie die Resultate der Umfragen 2007/02 als Grundlage für die Extrapolation von Werten. Die Daten wurden soweit möglich in

Zusammenarbeit mit Experten weitergehend überprüft. Die Eingabeparameter der Hochrechnungen 1995/90 und Erläuterungen zu deren Herleitung sind online<sup>6</sup> verfügbar.

### **2.1.5 Einzelbetriebliche Berechnung**

Die plausibilisierten Datensätze der 3133 Betriebe der Umfrage 2007 wurden anschliessend ins Modell Agrammon eingelesen und darauf basierend die Berechnung der Emissionen für jeden Einzelbetrieb durchgeführt. So wurden für jeden Betrieb für jede einzelne Tierkategorie Emissionsfaktoren (kg NH<sub>3</sub>-N pro Tier und Jahr) pro Emissionsstufe und für das Total aller Emissionsstufen bestimmt. Die Resultate der Umfrage von 2002 (Reidy und Menzi, 2006) durchliefen den gleichen Prozess, um eine möglichst gute Vergleichbarkeit der Datensätze zu erreichen.

### **2.1.6 Berechnung von mittleren Emissionsfaktoren (Betriebs- und Tierkategorien)**

#### **2.1.6.1 Jahre 2007 und 2002**

Basierend auf den Datensätzen der Umfragen 2007 und 2002 wurden für jede Tierkategorie der 32 Betriebsklassen der mittlere Emissionsfaktor (EF) pro Emissionsstufe (Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlager, Hofdüngerausbringung) berechnet (nach Tierbestand gewichteter Mittelwert aller relevanten Betriebe). Der gesamte jährliche Emissionsfaktor pro Tierkategorie einer Betriebsklasse ist die Summe der Emissionsfaktoren der einzelnen Emissionsstufen. Neben dem mittleren Emissionsfaktor pro Tierkategorie einer Betriebsklasse wurde auch der mittlere Emissionsfaktor pro Tierkategorie der vier Höhenstufen und aller Betriebe der Umfrage berechnet.

Für die Hochrechnung der Ammoniakemissionen der Jahre 2007 und 2002 wurde der mittlere Emissionsfaktor einer Tierkategorie nur verwendet, falls die entsprechende Betriebsklasse als Resultat der Umfrage mehr als 20 Betriebe aufwies. War dies nicht der Fall, kam der mittlere Emissionsfaktor der Tierkategorie der entsprechenden Höhenstufe zur Anwendung. Wies auch diese weniger als 20 Betriebe auf, wurde der Mittelwert aller Umfragebetriebe verwendet.

In Abbildung 7 ist das Vorgehen zur Ermittlung eines mittleren Emissionsfaktors für eine Emissionsstufe exemplarisch dargestellt. Im Streudiagramm sind die Anzahl Milchkühe pro Einzelbetrieb gegenüber der jährlichen Ammoniakemission bei der Hofdüngerausbringung aufgeführt. Die Daten stammten aus der Umfrage 2007 (Anzahl Betriebe: 2056, Anzahl Milchkühe: 42864). Die Gerade wurde durch den Nullpunkt gelegt mit der Begründung, dass ein Hof ohne Tiere kein Ammoniak emittiert. Die Steigung der Geraden entspricht dem mittleren Ausbringungsemissionsfaktor pro Milchkuh pro Jahr. Abbildung 7 zeigt auch die grosse Variabilität der EF, welche durch Unterschiede der Produktionstechnik zwischen den Betrieben beeinflusst wird (im vorliegenden Beispiel dürfte beispielsweise die Anwendung emissionsmindernder Ausbringungstechniken eine Rolle spielen). Die berechneten Emissionsfaktoren geordnet nach Tierkategorien und Emissionsstufen sind online<sup>7</sup> verfügbar.

---

<sup>6</sup> <http://agrammon.ch/downloads> (Eingabeparameter der Hochrechnungen 1990, 1995, 2002, 2007)

<sup>7</sup> <http://agrammon.ch/downloads> (Berechnete Emissionsfaktoren 1990, 1995, 2002, 2007)

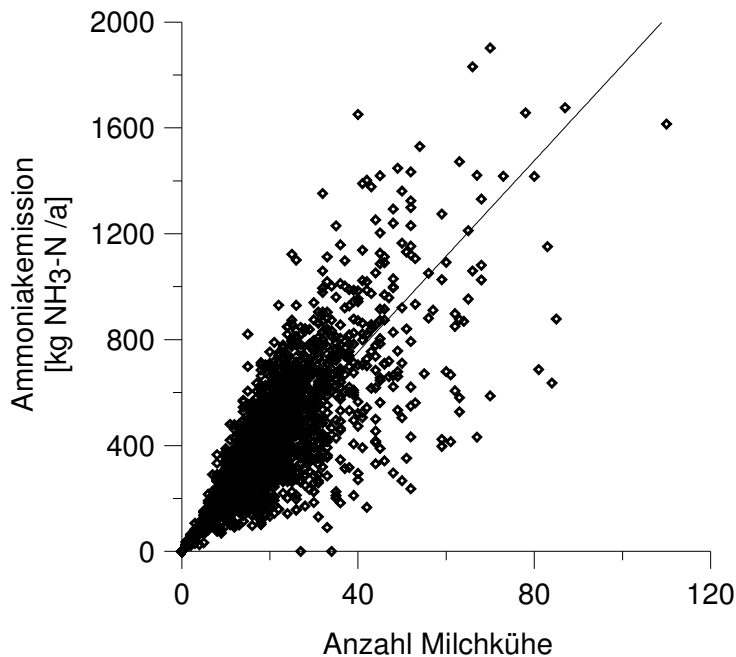


Abbildung 7: Lineare Regression zur Ermittlung eines mittleren tierspezifischen Emissionsfaktors: Anzahl Milchkühe pro Betrieb versus jährliche Ammoniakemission bei der Hofdüngerausbringung. Anzahl Betriebe: 2056, Anzahl Milchkühe: 42864; Daten der Umfrage aus dem Jahr 2007. Die Steigung der Geraden entspricht dem mittleren Emissionsfaktor der Hofdüngerausbringung pro Milchkuh pro Jahr. Die Verteilung der Punkte zeigt die Streuung der Emissionsfaktoren.

### 2.1.7 Hochrechnung der Emissionen auf die Schweiz

Die mittleren Emissionsfaktoren jeder Tierkategorie sowie jeder Betriebsklasse bildeten die Grundlage für die gesamtschweizerische Hochrechnung. Der Emissionsfaktor jeder Tierkategorie und jeder Betriebsklasse wurde mit der Anzahl Tiere der entsprechenden Tierkategorie bzw. Betriebsklasse multipliziert. Die daraus gebildete Summe ergab die gesamtschweizerische Emission aus der Tierproduktion. Dazu wurden die geschätzten Emissionen der weiteren Raufutter verzehrenden Tiere (z.B. Lamas, Bisons), die Emissionen aus dem Pflanzenbau, die nicht-landwirtschaftlichen Emissionen sowie jene aus natürlichen Quellen addiert. Die Hochrechnung für das Jahr 2002 erfolgte nach dem gleichen Verfahren.

Zur Emissionshochrechnung für 1990 und 1995 wurden die Eingabeparameter und die Tierzahlen der Jahre 1990 und 1995 direkt ins Modell eingegeben. Dazu wurde ein virtueller Landwirtschaftsbetrieb Schweiz gebildet, welcher die Tierzahlen und die weiteren wesentlichen produktionstechnischen Grössen gemäss verfügbarer Datengrundlage abbildete. Der virtuelle Betrieb Schweiz 1995 beinhaltete beispielsweise 118 Typen von Ställen, auf welche die Gesamtheit der landwirtschaftlichen Nutztiere der Schweiz anteilmässig gemäss Stallsysteme und Produktionstechnik verteilt wurden. Das Güllelager wies insgesamt ein Volumen von 14.8 Mio. m<sup>3</sup> mit einem Anteil an offenen Lagern von 13 % auf (vgl. Tabelle 6). Für die Gülleausbringung wurde ein mittlerer Wert angenommen: 100 % der Gülle ausgebracht mittels Prallteller, Gülleverdünnung: 1:1; mittlere Ausbringungsmenge pro Gabe: 30 m<sup>3</sup> pro ha; Anteil Gülleausbringung am Abend nach 18h00: 5 %; Ausbringung von Gülle im Sommer bzw. von September bis und mit Mai: Anteile 52 % bzw. 48 %.

## 2.2 Eingabedaten

### 2.2.1 Tierzahlen

Die Entwicklung der Tierbestände von 1990 bis 2007 ist in Abbildung 8 am Beispiel der Milchkühe, der Mastschweine und der Mastpoulets dargestellt. Die verwendeten Tierzahlen stammen aus der landwirtschaftlichen Betriebsdatenerhebung des BFS.

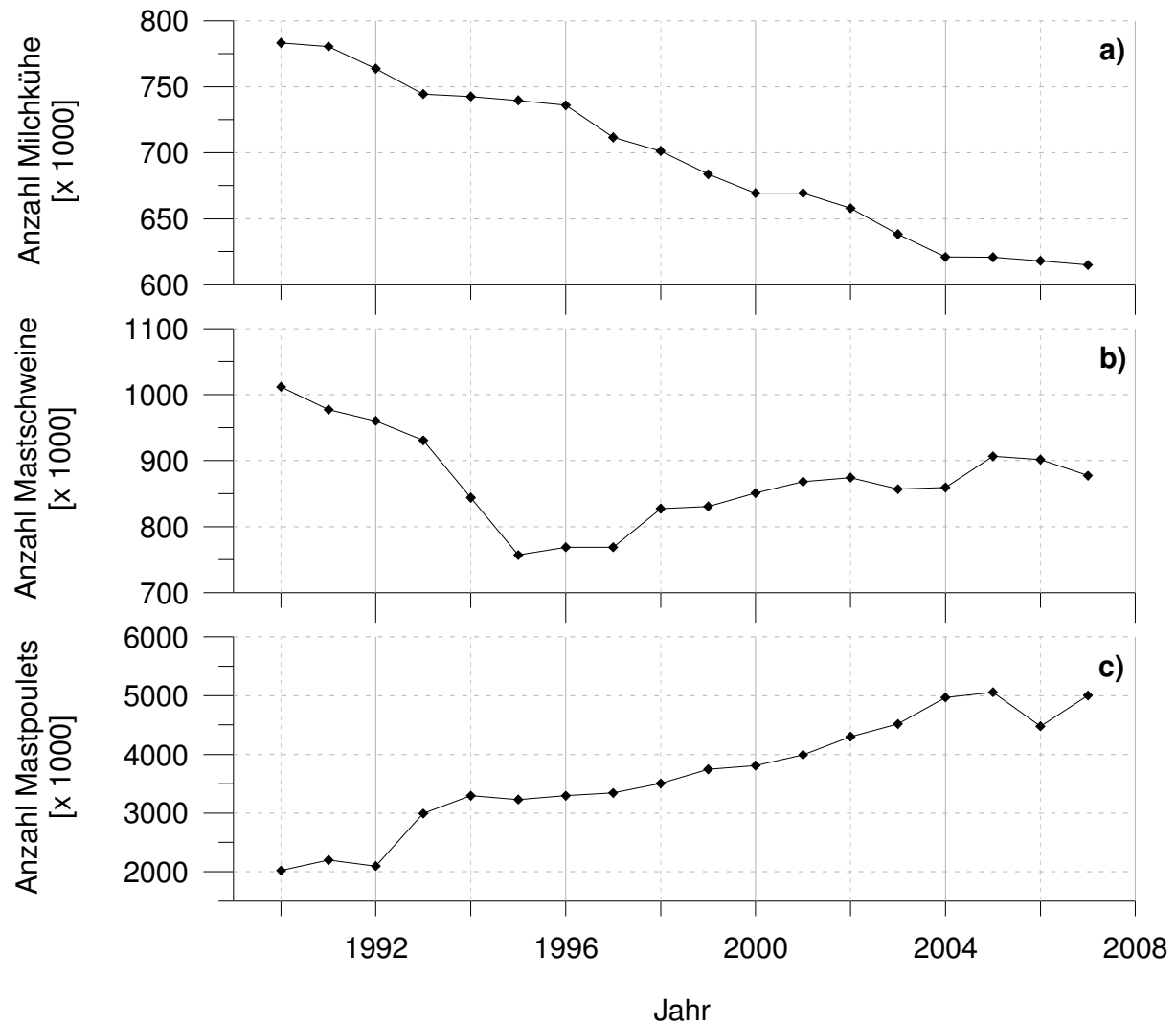


Abbildung 8: Zeitreihe der Tierzahlen von Milchkühen (a), Mastschweinen (b) und Mastpoulets (c) in der Schweiz von 1990 – 2007.

Die Anzahl der Milchkühe ging zwischen 1990 und 1995 um 6 % zurück. Der Bestand nahm bis 2002 stärker ab und lag um 16 % tiefer als 1990. Die Abnahme flachte danach ab (Bestand 2007 um 21 % tiefer als 1990). Die Trends der übrigen Rindviehkategorien verliefen ähnlich mit Ausnahme der Mutterkühe und der Mutterkuhkälber, deren Anzahl zwischen 1990 und 2007 um ca. einen Faktor 7 zunahm. Bei den Mastschweinen war zwischen 1990 und 1995 eine Abnahme um rund 27 % zu beobachten. Danach nahm der Bestand wieder leicht zu. Die Anzahl Mastschweine lag 2007 um 14 % tiefer als 1990. Der Gesamtbestand der Schweine entwickelte sich im Zeitraum zwischen 1990 und 2007 ähnlich wie die Mastschweine. Die Mastpoulets verzeichneten im Zeitraum zwischen 1990 und 2007 eine mehr oder weniger konstante Zunahme. Der Bestand stieg in dieser Zeit um rund 150 % an. Der Bestand der Legehennen nahm zwischen 1990 und 1995 um rund 30 % ab und blieb danach etwa konstant (Zahlen nicht dargestellt). Die totale Anzahl von Geflügel nahm von 1990 bis 2007 um rund 40 % zu. Bei den Kate-

gorien der Pferde und anderen Equiden sowie der Kleinwiederkäuer war im gleichen Zeitraum eine Erhöhung der Bestände um 120 % bzw. 12 % zu beobachten. Der Nutztierbestand in Grossvieheinheiten (GVE) ging zwischen 1990 und 2007 insgesamt von 1'429'759 GVE auf 1'293'284 GVE zurück, was einer Abnahme von rund 10 % entspricht (Bundesamt für Landwirtschaft, 2009). Eine Liste der für die Hochrechnung von 1990, 1995, 2002 und 2007 verwendeten Tierzahlen ist im Anhang 6.1 aufgeführt.

## 2.2.2 Landwirtschaftsflächen

Die landwirtschaftliche Nutzfläche stammt aus der landwirtschaftlichen Betriebsdatenerhebung 1990, 1995, 2002 und 2007 des BFS (Meyre et al., 2000, Saxer et al., 2004; BFS, 2009; Tabelle 4). Die Flächenangaben zu den alpwirtschaftlichen Flächen (Alp- und Juraweiden, Maiensässe, Heualpen, Bergwiesen) basieren auf der Schweizerischen Arealstatistik des BFS 1992/97 und wurden von Reidy und Menzi (2006) übernommen. Für 2007 wurden die Daten extrapoliert (Annahme: Fortsetzung des Trends 1995-2002).

Tabelle 4: In den Berechnungen verwendete landwirtschaftliche Nutzfläche und die alpwirtschaftliche Nutzflächen sowie die resultierende totalen Landwirtschaftsflächen

	1990	1995	2002	2007	Quellen
Landwirtschaftliche Nutzfläche (ha)	1'068'490	1'064'740	1'063'595	1'060'278	Meyre et al. (2000), Saxer et al. (2004), BFS (2009)
Alpwirtschaftliche Flächen (ha)	555'661	548'219	537'801	533'460	Reidy und Menzi (2006)
Landwirtschaftsflächen (ha)	1'624'151	1'612'959	1'601'396	1'593'738	

Die Emissionen von Ammoniak aus Landwirtschaftsflächen sind auf Prozesse in der Pflanzendecke zurückzuführen. Die Emissionsraten aus der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Grasland, offene Ackerfläche) wurde gemäss Schjoerring und Mattsson (2001) auf 2 kg NH<sub>3</sub>-N pro ha festgelegt. Für alpwirtschaftliche Flächen kam eine Emissionsrate von 0.5 kg NH<sub>3</sub>-N pro ha zur Anwendung (EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2002), um der unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensität der Flächen Rechnung zu tragen.

## 2.2.3 Milchleistung

Die Milchleistung einer Milchkuh steht in engem Zusammenhang mit der Stickstoffausscheidung und hat deshalb einen Einfluss auf die Ammoniakverluste. Die Milchleistung wurde mittels Umfrage 2007 erhoben. Das Ergebnis von 7029 kg pro Milchkuh und Jahr liegt im Bereich der Milchleistung von 7009 kg pro Milchkuh gemäss Erhebung der Zuchtviehverbände, welche auf den Milchleistungsprüfungen der Herdebuchtiere basiert (Bundesamt für Landwirtschaft, 2008).

Die durchschnittliche Milchleistung der Milchkühe 2002 wurde über die Kontingentszahlen des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) ermittelt. Dazu wurden das Grundkontingent und die direkt vermarktete Milch eines Betriebes zusammengezählt und durch die Anzahl Milchkühe auf dem Betrieb dividiert. Lag die berechnete Milchleistung unter 4500 kg wurde ein Standardwert von 6000 kg zur Berechnung verwendet. Für Betriebe, welche eine Milchleistung von über 4500 kg aufwiesen, wurden pro Kuh 200 kg für auf dem Hof abgetränkte Milch hinzugezählt. Die so ermittelte Milchleistung belief sich im Durchschnitt aller Betriebe auf 5966 kg pro Tier.

Die Milchleistungen von 1990 (4940 kg pro Milchkuh und Jahr) und 1995 (5200 kg pro Milchkuh und Jahr) wurden über die Gesamtmilchmenge und die Anzahl Milchkühe gemäss Meyre et al. (2000) und Saxer et al. (2004) berechnet.

## 2.2.4 Produktionssysteme und –techniken

Die Entwicklung von Produktionssystemen und –verfahren sind neben den Tierbeständen die massgebenden Grössen, welche die Menge des emittierten Ammoniaks steuern. Die wichtigsten Parameter der Tierproduktion, welche im Modell Agrammon zur Berechnung der Emissionen verwendet werden, sind in Tabelle 5 aufgeführt. Die Entwicklung der wesentlichen Parameter im Zeitraum zwischen 1990 und 2007 wird im Folgenden zusammengefasst. Eine detaillierte Dokumentation ist online verfügbar<sup>8</sup>.

Tabelle 5: Übersicht der wichtigsten Parameter der Tierproduktion, welche im Modell Agrammon zur Berechnung der Emissionen verwendet werden

N-Ausscheidung	Weide	Stall	Laufhof	Lagerung	Ausbringung
Milchleistung (Milchkühe)	Anteil Tiere mit Weide	Aufstallung (Rindvieh, Schweine, Geflügel)	Anteil Tiere mit Auslauf	Emittierende Oberfläche des Güllelagers	Anteil Gülleausbringung mit emissionsmindernden Verfahren
Sommerfütterung (Milchkühe)	Weidetage pro Jahr	Anzahl Tierplätze in Laufställen (Rindvieh)	Auslauftage pro Jahr	Abdeckung des Güllelagers	Verdünnung der Gülle
Winterfütterung (Milchkühe)	Weidestunden pro Tag	Emissionsmindernde Massnahmen (Rindvieh, Schweine)*	Auslaufstunden pro Tag	Häufigkeit des Aufrührens des Güllelagers	Mittlere Ausbringungsmenge von Gülle pro Gabe
Krafftuttermenge (Milchkühe)		Abluftreinigung (Schweine, Geflügel)*	Laufhoftyp: Beschaffenheit des Bodens,	Anteil von direkt ausgebrachtem Mist (Rindvieh, Schweine, Geflügel)	Anteil Gülleausbringung nach 18 Uhr
Gehalt an Rohprotein und verdauliche Energie der Rationen (Schweine)		Entmistungsintervall Geflügelställe	Weide als Auslauf (Rindvieh)	Anteil von gedeckt gelagertem Mist oder Kot (Geflügel)*	Anteil Gülleausbringung an heissen Tagen
		Tränkesystem für Geflügel			Einarbeitung von Mist nach dem Ausbringen
					Ausbringanteil Sommer und Frühjahr/Herbst

\*Für die Erstellung des Emissionsinventars nicht berücksichtigt

### 2.2.4.1 N-Ausscheidung

**Milchkühe:** Die Milchleistung der Milchkühe hat zugenommen (vgl. Kap. 2.2.3), was mit einer Erhöhung der N-Ausscheidung einherging. Der Einfluss der Milchleistung auf die N-Ausscheidungen wurde entsprechend der Empfehlungen nach GRUDAF (Flisch et al., 2009) berücksichtigt. Futtermittel, welche gemäss Modellrechnung im Sommer (Krafftutter, Heu, Maiswürfel, Maissilage) und im Winter (Krafftutter, Maiswürfel, Maissilage) eine Verminderung der N-Ausscheidung bewirken, wurden vermehrt verabreicht. Diese Entwicklung führte zu einer Zunahme der ausgeschiedenen N-Menge von 96.1 kg N pro Kuh und Jahr auf 108.2 kg N pro Kuh und Jahr.

**Schweine:** Aufgrund des züchterischen Fortschritts reduzierte sich die N-Ausscheidung (Basiswert) von 1990/95 von 15 kg N pro Mastschweineplatz und Jahr (Walther et al., 1994) auf 13 kg N in 2002/07 (Flisch et al., 2009). Werden die ermittelten durchschnittlichen Rohproteingehalte der Schweinerationen in der Praxis mitberücksichtigt (für 1990/95 gemäss Kessler et al., 1994; für 2007 gemäss Umfrage), lag die mittlere N-Ausscheidung pro Mastschwein 1990/95 bei 16.9 kg N und 2007 bei 11.8 kg N. Die Entwicklung verlief bei den andern Schweinekategorien ähnlich.

**Geflügel:** Bei den Legehennen und den Mastpoulets wurde für die Jahre 1990 bis 2002 eine N-Ausscheidung von 0.71 bzw. 0.4 kg N pro Tier und Jahr verwendet (Walther et al., 2001). Aufgrund der Entwicklung in der Produktionstechnik betrug die Basis N-Ausscheidung im Jahr 2007 0.8 bzw. 0.45 kg N pro Tier und Jahr (Flisch et al., 2009). Zwischen den Stichjahren wurden die N-Ausscheidungen interpoliert. Dies gilt auch für die übrigen Tierkategorien.

<sup>8</sup> <http://agrammon.ch/downloads> (Eingabeparameter der Hochrechnungen 1990, 1995, 2002, 2007)

### 2.2.4.2 Weide

Aufgrund der Förderung von tiergerechten Haltungssystemen und verschärften Anforderungen der Tierschutzgesetzgebung sowie aus betriebswirtschaftlichen Gründen hat sich der Anteil von Tieren mit Zugang zu Weide sowie die Weidedauer im Zeitraum von 1990 bis 2007 für alle Tierkategorien erhöht. Gemäss den für die Emissionsrechnungen verwendeten Angaben (1990 Expertenschätzung; 2007 Umfrage) hat beispielsweise für die Milchkühe der Anteil des auf der Weide ausgeschiedenen N (Sömmerungsgebiete nicht eingeschlossen) zwischen 1990 und 2007 von 8 % auf 20 % zugenommen.

### 2.2.4.3 Stall/Laufhof

In der Zeit zwischen 1990 und 2007 haben Laufställe für alle Tierkategorien zugenommen (Beispiel: Anteil Milchkühe in Laufställen 1990: 6 % (gemäss Schätzung); 2007: 41 % gemäss Umfrage). Gleichzeitig fanden Laufhöfe breite Anwendung in der Praxis. Bei den Schweinen war eine starke Zunahme von Labelställen mit Mehrflächenbucht und Auslauf anstelle von konventionellen Ställen ohne Auslauf zu beobachten (Beispiel: Anteil Mastschweine in Labelställen 1990: 0 % gemäss Schätzung und 2007: 63 % gemäss Umfrage). Bei Legehennen und Junggehennen haben sich Ställe mit Kotbandentmistung gegenüber Ställen mit Bodenhaltung oder Kotgrube durchgesetzt (Anteil Ställe mit Kotbandentmistung bei Legehennen 2007: 81 %). Tränkebecken wurden bei allen Geflügelkategorien weitgehend durch Tränkenippel ersetzt.

### 2.2.4.4 Hofdüngerlager

Gemäss Umfragen betrug das Lagervolumen von Gülle 17.8 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 2002 und 17.1 Mio. m<sup>3</sup> für 2007 (Tabelle 6). Saxer et al. (2004) gaben für 2003 ein Gesamtvolumen von 19 Mio. m<sup>3</sup> an, was um rund 6 % über dem Wert gemäss Umfrage von 2002 liegt. Die Daten von 1990 und 1995 basieren auf Erhebungen des BFS (Meyre et al., 2000; Saxer et al., 2004).

Das Lagervolumen hat bis 2007 um 39 % zugenommen. Die Abnahme zwischen 2002 und 2007 könnte auf eine effektive Verminderung des Lagervolumens oder auf eine unterschiedliche Struktur der Betriebe der Stichproben der beiden Umfragen zurückzuführen sein. Insgesamt resultierte eine Erhöhung der emittierenden Oberfläche. Der Anteil von offenen Güllelagerbehältern hat leicht zugenommen.

Tabelle 6: Lagervolumen von Gülle von 1990 bis 2007 in m<sup>3</sup>, Abdeckung der Güllelager in Prozent

Abdeckung des Güllelagers	1990 <sup>a</sup>	1995 <sup>b</sup>	2002 <sup>c</sup>	2007 <sup>c</sup>	1990	1995	2002	2007
	m <sup>3</sup>				%			
Keine Abdeckung	1'608'360	1'930'240	2'993'352 <sup>d</sup>	2'912'954 <sup>d</sup>	13	13	17	17
Feste Abdeckung	10'763'640	12'917'760	12'581'703	11'904'798	87	87	71	69
Perforierte Abdeckung	n.e. <sup>e</sup>	n.e. <sup>e</sup>	2'216'652	2'280'681	0	0	12	13
Folien / Folienzelt	n.e. <sup>e</sup>	n.e. <sup>e</sup>	0	24'637	0	0	0	0
Schwimmfolie	n.e. <sup>e</sup>	n.e. <sup>e</sup>	n.e. <sup>e</sup>	16'868	0	0	0	0
Volumen total in m <sup>3</sup>	12'372'000	14'848'000	17'791'707	17'139'938	100	100	100	100
Volumen total in Prozent von 1990					100	120	144	139

Quellen: <sup>a</sup> Meyre et al. (2000); <sup>b</sup> Saxer et al. (2004); <sup>c</sup> Umfragen 2002 und 2007

<sup>d</sup> Davon 907'465 m<sup>3</sup> (2002) bzw. 1'224'395 m<sup>3</sup> (2007) mit natürlicher Schwimmschicht; <sup>e</sup> nicht erhoben

#### 2.2.4.5 Hofdüngerausbringung

Die Gülleausbringung mit emissionsmindernden Verfahren hat zugenommen. Im Jahr 2007 wurde 12 % der Güllemenge mittels Schleppschauch ausgebracht. Mist wurde nach der Ausbringung vermehrt eingearbeitet.

#### 2.2.5 Mineralische Stickstoffdünger

Zur Berechnung der Ammoniakemissionen infolge Anwendung von mineralischen Stickstoffdüngern wurde in den Umfragen 2002 und 2007 die totale Menge des ausgebrachten mineralischen Stickstoffes erhoben, sowie die Art des Düngers (Harnstoff und andere N-Dünger). Rund 20 % (2002) bzw. 35 % (2007) der ausgewerteten Fragebögen enthielten zu dieser Frage keine Angabe. Zudem wurden teilweise die Angaben zur ausgebrachten N Menge nicht in kg N sondern in kg Dünger angegeben. Zur Korrektur dieser Angaben wurde der Bedarf von mineralischem N für jeden Betrieb (ausgenommen biologisch bewirtschaftete Betriebe) mit einer vereinfachten Anfall/Bedarfsbilanz rechnerisch geschätzt. Zur Berechnung des N-Anfalles wurde angenommen, dass pro auf dem Betrieb vorhandene GVE durchschnittlich 50 kg N<sub>verf</sub> (pflanzenverfügbarer Stickstoff) anfallen (abgeleitet aus Flisch et al., 2009 und Wegleitung Suisse-Bilanz). Der N-Bedarf pro Hektare landwirtschaftlicher Nutzfläche wurde für das Tal- und Hügelgebiet auf 120 kg und für das Berggebiet auf 100 kg festgelegt (abgeleitet aus Flisch et al., 2009). Für die Berechnung der Bilanz wurde zudem die LN der Betriebe um 10 % für ungedüngte ökologische Ausgleichsflächen korrigiert. Eine Gegenüberstellung des Anfalls mit dem Bedarf (inklusive mineralische N-Dünger für Betriebe mit entsprechenden Angaben) erlaubte die Berechnung eines Überschusses bzw. Defizits. Folgende Korrekturen wurden anschliessend vorgenommen: Bei Betrieben, welche keine Angaben zur mineralischen N-Düngermenge gemacht hatten, wurde angenommen, dass die eingesetzte Menge mineralischer N-Dünger dem berechneten Defizit entspricht. Im Falle eines berechneten N-Überschusses und fehlender Angaben zu den mineralischen N-Düngern in der Umfrage wurde davon ausgegangen, dass der Betrieb keine zusätzliche N Dünger einsetzt. Für Betriebe, bei denen die Angabe zur ausgebrachten N-Menge den bilanzierten N Bedarf um mehr als 100 % überschritt, wurde unterstellt, dass die Angabe in der Umfrage in Kilogramm Dünger erfolgte. Die angegebene Zahl wurde deshalb mit 0.27 multipliziert, was dem Stickstoffgehalt von handelsüblichem Ammonsalpeter (Ammoniumnitrat) entspricht<sup>9</sup>.

Zur Überprüfung wurden die Summe der in den Berechnungen verwendeten gesamtschweizerischen mittels Mineraldünger ausgebrachten N-Menge mit den Angaben aus der Importstatistik 2007 der Treuhandstelle der schweizerischen Düngerpflichtlagerhalter verglichen (Tabelle 7). Dabei wurde berücksichtigt, dass rund 4 % der gesamten N-Menge in der Paralandwirtschaft (Gärten, Rasenflächen) eingesetzt wird (mündliche Mitteilung E. Spiess, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART). Die Zahlen stimmten mit einer Abweichung von +5 % relativ gut überein. Für die Jahre 1990 und 1995 wurden die um den Verbrauch der Paralandwirtschaft korrigierten Daten der Importstatistik direkt verwendet.

Emissionen aufgrund der Verwendung von mineralischen Stickstoffdüngern ausserhalb der Landwirtschaft wurden den nicht-landwirtschaftlichen anthropogenen NH<sub>3</sub> Emissionen zugeordnet.

#### 2.2.6 Recyclingdünger

Die in der Landwirtschaft eingesetzten Mengen an Recyclingdüngern und die Gehalte an NH<sub>4</sub>-N (Klärschlamm, Kompost, Gärgut fest und flüssig) basieren auf Candinas et al. (1999), Kettler

---

<sup>9</sup> Das Vorgehen ist beschrieben in: <http://agrammon.ch/downloads> (Prüfung auf Plausibilität und Korrektur der Datensätze der Umfrage zur Abschätzung von Ammoniakverlusten 2007; Dokument in Englisch)

(2002), Külling et al. (2002), Brändli et al. (2007) und Hügi et al. (2008) (Tabelle 8). Mistkompost und Produkte aus der Vergärung von Hofdüngern zählen nicht zu Kompost und Gärgut. Es wurde angenommen, dass beim Ausbringen von Klärschlamm und Gärgut flüssig bzw. Kompost und Gärgut fest 60 % bzw. 80 % des NH<sub>4</sub>-N als Ammoniak verloren geht. Emissionen, welche durch die Herstellung von Kompost und Gärgut entstehen, sowie der nicht landwirtschaftlichen Anwendungen, wurden den nicht-landwirtschaftlichen NH<sub>3</sub> Emissionen zugeordnet.

Tabelle 7: Verwendungsmenge von mineralischen Stickstoffdüngern in der Landwirtschaft in Tonnen pro Jahr (Quelle: Treuhandstelle der Schweizerischen Düngerpflichtlagerhalter, 2007)

	1990	1995	2002	2007
Harnstoff (t N/a)	17'000	11'253	8'385	8'680
Andere mineralische Stickstoffdünger (t N/a)	49'912	47'307	45'112	43'088
Total (t N/a)	66'912	58'560	53'497	51'768

Tabelle 8: Verwendung von Recyclingdüngern in der Landwirtschaft in Tonnen Trockensubstanz (TS) pro Jahr

	1990	1995	2002	2007**
Klärschlamm flüssig (t TS /a)	107'000	116'000	77'140*	19'745
Kompost (t TS /a)	60'030	94'829	84'420	146'259
Gärgut fest (t TS /a)	0	1'345	5'378	13'053
Gärgut flüssig (t TS /a)	0	2'898	11'593	21'314

\*Daten von 2000; \*\*Daten von 2006

### 2.3 Nicht-landwirtschaftliche Ammoniakemissionen

Neben den landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen tragen auch die Quellengruppen Verkehr, Industrie/Gewerbe, Abfallbewirtschaftung und Haushalte zu den gesamtschweizerischen Ammoniakemissionen bei. Diese sind im schweizerischen Luftschadstoff- und Klimagas-Emissionsinventar EMIS des Bundesamts für Umwelt (BAFU) zusammengestellt und referenziert.

Die Berechnung der jeweiligen Jahresemissionen dieser Quellengruppen erfolgt nach folgendem Ansatz:

$$\text{Emissionsmenge} = \text{Aktivitätsrate} \times \text{Emissionsfaktor}$$

Die Aktivitätsrate, oft auch als Jahresleistung bezeichnet, gibt das Ausmass einer Tätigkeit an, beispielsweise die Anzahl gefahrener Kilometer pro Jahr und Fahrzeugkategorie (Fahrleistung), die jährliche Produktion eines Materials (Produktionsmenge), der Verbrauch eines Brennstoffes (Energieverbrauch), der Verbrauch eines Produkts, die Menge verbrannten Abfalls.

Der Emissionsfaktor gibt die freigesetzte Schadstoffmenge pro Aktivitätseinheit an, beispielsweise pro gefahrenen Kilometer, pro Tonnen produzierten Materials, pro Gigajoule Brennstoff, pro Tonne verbrauchten Produkts, pro Tonne verbrauchten Abfalls.

Die Emissionsfaktoren beziehen sich auf Angaben in internationalen Handbüchern (EMEP/CORINAIR 2007), in nationalen Zusammenstellungen (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 2000), in nationalen Messberichten (EMPA 2005), in der Fachliteratur (Sutton et al. 2000) und von Industrieverbänden.

## 2.4 Ammoniakemissionen aus natürlichen Quellen in der Schweiz

Neben anthropogenen Quellen gibt es auch natürliche Quellen für Ammoniakemissionen. Nach internationaler Spezifikation gelten die Emissionen von naturnahen Ökosystemen wie Wälder, Feuchtgebiete und unproduktive Vegetationsflächen sowie jene von Wildtieren als natürlich. Mikrobielle und chemische Prozesse in Böden und Gewässern von naturnahen Ökosystemen sowie die Ausscheidungen der Wildtiere führen zu diesen Emissionen.

Die natürlichen Emissionen werden nach dem gleichen Ansatz berechnet wie die anthropogenen Emissionen (vgl. Kapitel 2.3):

Emissionsmenge = Aktivitätsrate x Emissionsfaktor

Für Wald scheint es so zu sein, dass eine aus dem Waldboden stammende Ammoniakmenge von den Pflanzen direkt wieder absorbiert wird, so dass aus dem Wald insgesamt kein Ammoniak austritt. Bei natürlichen Grasflächen (unproduktive Vegetation wie Gebüsch und Strauchvegetation, unproduktive Gras- und Krautvegetation, Nassstandorte, Ufervegetation, Strassen- und Bahngrün) wird ein Emissionsfaktor von 1 kg NH<sub>3</sub> (0.82 kg NH<sub>3</sub>-N) pro Hektare und Jahr verwendet. Die Fläche (255'000 ha) entspricht der Aktivitätsrate. Bei grossen Wildtieren (Hirsche, Rehe, Gämsen, Steinböcke) konnte unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Lebendgewichts und der Bestände ein für den schweizerischen Bestand gewichteter Emissionsfaktor von 0.4 kg NH<sub>3</sub> (0.33 kg NH<sub>3</sub>-N) pro Tier und Jahr ermittelt werden. Der Bestand (245'000) entspricht der Aktivitätsrate. Bei kleinen Wildtieren (Mäuse, Ratten, weitere Nagetiere auf Waldböden, Alpweiden und Landwirtschaftsböden) wurde ein Emissionsfaktor von 0.11 kg NH<sub>3</sub> (0.09 kg NH<sub>3</sub>-N) pro Hektare und Jahr hergeleitet. Die Fläche für Waldböden, Alpweiden und Landwirtschaftsböden (2'778'000 ha) entspricht der Aktivitätsrate (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 1996).

## 2.5 Prognose der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bis 2020

Die Prognose der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bis 2020 basiert auf den Tierzahlen nach Peter (2010; vgl. Anhang 6.1). Die Emissionsfaktoren zur Berechnung der Emissionen aus der Tierproduktion wurden von 2007 übernommen. Die Verwendung von mineralischen Stickstoffdüngern 2008 wurde gemäss Daten der Treuhandstelle der Schweizerischen Düngerpflichtlagerhalter, 2008 ergänzt (6905 t N Harnstoff; 48777 t übrige mineralische Stickstoffdünger) und ab 2008 als konstant angenommen. Die übrigen Emissionen aus dem Pflanzenbau (Recyclingdünger, Landwirtschaftsflächen) wurden ab 2007 als konstant angenommen.

## 2.6 Vergleich der Emissionsfaktoren Kanton Luzern - Region Zentral Schweiz

Die Dienststelle Landwirtschaft und Wald (lawa), Luzern führte im Jahr 2008 eine zusätzliche Erhebung zur Berechnung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen des Kantons Luzern durch. Das Vorgehen zur Erhebung der Daten (Schichtung der Stichprobe, Fragebogen) war gleich wie bei der gesamtschweizerischen Umfrage zur Abschätzung von Ammoniak-Verlusten von 2007. Die Berechnung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen des Kantons Luzern basierten 345 Datensätzen aus der gesamtschweizerischen Umfrage bzw. 238 Datensätzen aus der zusätzlichen Erhebung des lawa (total: 583 Datensätze). Die resultierenden Emissionsfaktoren des Kantons Luzern wurden mit den Emissionsfaktoren der Region Zentral Schweiz verglichen, welcher der Kanton Luzern zugeordnet ist (die Berechnung der Emissionsfaktoren der Region Zentral Schweiz basiert auf 1315 Datensätzen). Dieser Vergleich zeigt, wie gut eine Teilregion innerhalb einer Region, deren Emissionen auf der Grundlage einer grösseren Stichprobe berechnet wurden, mit der Region übereinstimmt. Dieser Vergleich liefert zusätzliche Anhaltspunkte zur Qualität der Resultate des gesamtschweizerischen Inventars.

## 3 Resultate

### 3.1 Gesamtschweizerische Ammoniakemissionen 2007

#### 3.1.1 Gesamtschweizerische Ammoniakemissionen

In der Schweiz wurden im Jahr 2007 insgesamt 52.3 kt NH<sub>3</sub>-N als Ammoniak emittiert (Tabelle 9). Davon stammten 94 % aus der Landwirtschaft, 5 % waren nicht-landwirtschaftliche anthropogene Emissionen und 1 % natürliche Emissionen.

Tabelle 9: Ammoniakemissionen der Schweiz im Jahr 2007 in kt NH<sub>3</sub>-N sowie Anteil der einzelnen Kategorien an den Emissionen aus der Tierproduktion bzw. aus der Landwirtschaft

	Ammoniakemissionen	Anteil von Emissionen der Tierproduktion	Anteil von Emissionen Landwirtschaft	Anteil von totalen Emissionen
<b>Tierproduktion</b>	kt N	%		
Milchkühe	22.5			
Mutterkühe	2.6			
Aufzuchtrinder unter 1-jährig	1.9			
Aufzuchtrinder 1- bis 2-jährig	2.5			
Aufzuchtrinder über 2-jährig	1.9			
Mastkälber	0.5			
Mutterkuhkälber	0.8			
Masttiere Rindviehmast	2.0			
<b>Total Rindvieh</b>	<b>34.7</b>	<b>79</b>	<b>71</b>	<b>66</b>
Säugende Sauen	0.6			
Galtsauen	1.0			
Ferkel abgesetzt bis 25 kg	0.6			
Eber	<0.1			
Mastschweine/Remonten	4.2			
<b>Total Schweine</b>	<b>6.5</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>12</b>
Legehennen	0.5			
Junghennen	0.1			
Mastpoulets	0.6			
Masttruten	0.1			
Anderes Geflügel	<0.1			
<b>Total Geflügel</b>	<b>1.3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
Pferde über 3-jährig	0.5			
Pferde unter 3-jährig	0.1			
Ponies, Kleinpferde, Esel, Maultiere, Maulesel jed. Alters	0.1			
<b>Total Pferde und andere Equiden</b>	<b>0.7</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Schafe	0.6			
Milchschafe	<0.1			
Ziegen	0.1			
<b>Total Kleinwiederkäuer</b>	<b>0.8</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Anderer Raufutter verzehrende Nutztiere	<0.1			
<b>Total Tierproduktion</b>	<b>43.9</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>84</b>
<b>Pflanzenbau</b>				
Mineralische Stickstoffdünger	2.3			
Recyclingdünger	0.3			
Landwirtschaftsflächen	2.4			
<b>Total Pflanzenbau</b>	<b>5.0</b>		<b>11</b>	<b>10</b>

	Ammoniak- emissionen	Anteil von Emissionen der Tierproduktion	Anteil von Emissionen Landwirtschaft	Anteil von totalen Emissionen
	kt N	%		
<b>Total Landwirtschaft</b>	<b>49.0</b>		<b>100</b>	<b>94</b>
<b>Total nicht-landwirtschaftliche Emissionen</b>	<b>2.8</b>			<b>5</b>
<b>Total anthropogene Emissionen</b>	<b>51.8</b>			<b>99</b>
<b>Total natürliche Emissionen</b>	<b>0.5</b>			<b>1</b>
<b>Total anthropogene und natürliche Emissionen</b>	<b>52.3</b>			<b>100</b>

### 3.1.2 Landwirtschaftliche Ammoniakemissionen

#### 3.1.2.1 Übersicht

Im Jahr 2007 wurden aus der Landwirtschaft 49.0 kt NH<sub>3</sub>-N in Form von Ammoniak emittiert (Tabelle 9). Der weitaus grösste Teil stammte aus der Tierproduktion (43.9 kt NH<sub>3</sub>-N bzw. 90 %). 5.0 kt NH<sub>3</sub>-N der Emissionen wurden dem Pflanzenbau zugeordnet. Dies entspricht 11 % der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen.

#### 3.1.2.2 Emissionen der einzelnen Tierkategorien und Emissionsstufenstufen innerhalb der Tierproduktion

Mit 34.7 kt NH<sub>3</sub>-N und 6.5 kt NH<sub>3</sub>-N trugen die Kategorien Rindvieh und Schweine am stärksten zu den Verlusten aus der Tierproduktion bei (79 % bzw. 15 % des Totals der Tierproduktion; Abbildung 9). Die Anteile von Geflügel (1.3 kt NH<sub>3</sub>-N, 3 %), der Pferde und anderen Equiden (0.7 kt NH<sub>3</sub>-N, 2 %) und der Kleinwiederkäuer (0.8 kt NH<sub>3</sub>-N, 2 %) waren relativ gering. Die Emissionen von anderen Raufutter verzehrenden Nutztieren (z.B. Lamas, Bisons) waren mit ca. 0.1 kt NH<sub>3</sub>-N (<1 % der Emissionen aus der Tierhaltung) unbedeutend.

Die Hofdüngerausbringung (47 %; Abbildung 10), bildete die wichtigste Emissionsstufe innerhalb der Tierproduktion gefolgt von Stall/Laufhof (34 %). Der Beitrag der Hofdüngelager an den Ammoniakemissionen aus der Tierproduktion betrug 16 %. Der Anteil der Weideverluste lag bei 3 %. Die Gülle verursachte bei der Hofdüngerausbringung 38 % und bei der Lagerung 10 % der Emissionen. Mist trug 9 % bzw. 6 % zu den Verlusten der Hofdüngerausbringung und Hofdüngelager bei.

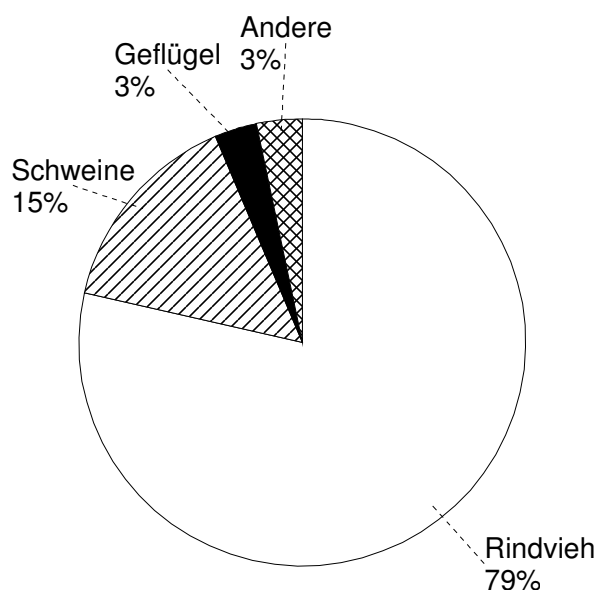


Abbildung 9: Anteile der einzelnen Tierkategorien an den Emissionen aus der Tierproduktion in Prozent (Andere Tierkategorien: Pferde und anderen Equiden, Kleinwiederkäuer).

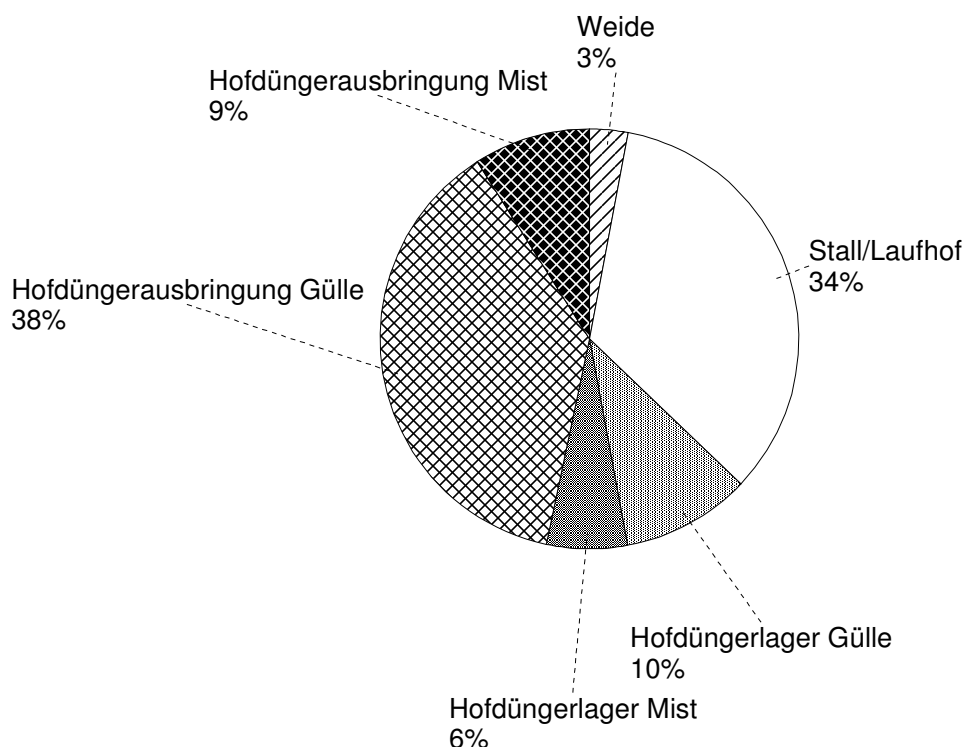


Abbildung 10: Anteile der Emissionsstufen an den Emissionen aus der Tierproduktion in Prozent.

Einen Hinweis auf die typische Verteilung auf verschiedene Emissionsstufen und zum Einfluss der Produktionstechnik liefert Anhang 6.4.

### 3.1.2.3 Emissionen des Pflanzenbaus

Die Hauptanteile an den Emissionen innerhalb des Pflanzenbaus bildeten Emissionen aus den Landwirtschaftsflächen (2.4 kt NH<sub>3</sub>-N) sowie Verluste infolge Einsatzes von mineralischen Stickstoffdüngern (2.3 kt NH<sub>3</sub>-N). Obwohl nur ca. 16 % der gesamten N Mineraldüngermenge in Form von Harnstoff ausgebracht wurde (vgl. Tabelle 7), waren die durch den Einsatz von harnstoffhaltigen Düngern verursachten Emissionen leicht höher als jene der übrigen N-haltigen Mineraldünger. Recyclingdünger verursachten Emissionen von insgesamt 0.3 kt NH<sub>3</sub>-N, welche sich ungefähr gleichmässig auf Klärschlamm, Kompost und Gärgut verteilten.

### 3.1.3 Nicht-landwirtschaftliche Ammoniakemissionen

Neben den landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen trugen auch die Quellengruppen Industrie/Gewerbe, Verkehr, Haushalte und Abfallbewirtschaftung zu den gesamtschweizerischen Ammoniakemissionen bei. Diese wurden im schweizerischen Luftschadstoff- und Klimagas-Emissionsinventar EMIS des Bundesamts für Umwelt (BAFU) zusammengestellt und referenziert. Im Jahre 2007 haben Industrie/Gewerbe mit 491 t NH<sub>3</sub>-N, der Verkehr mit 1026 t NH<sub>3</sub>-N, die Haushalte mit 909 t NH<sub>3</sub>-N und die Abfallbewirtschaftung mit 365 t NH<sub>3</sub>-N zu den gesamtschweizerischen nicht-landwirtschaftlichen Emissionen beigetragen. Eine detaillierte Aufschlüsselung dieser Emissionen befindet sich in Anhang 6.5.

### 3.1.4 Ammoniakemissionen aus natürlichen Quellen in der Schweiz

Mit dem in Kapitel 2.4 beschriebenen Vorgehen ergeben sich für die Schweiz Ammoniakemissionen von insgesamt 550 t NH<sub>3</sub>-N pro Jahr aus natürlichen Quellen. Davon stammen 81 t NH<sub>3</sub>-N von grossen Wildtieren, 255 t NH<sub>3</sub>-N von kleinen Wildtieren und 214 t NH<sub>3</sub>-N aus natürlichen Grasflächen.

### 3.1.5 Räumliche Verteilung der Emissionen in der Schweiz

Mit den vorhandenen Datengrundlagen sollen nicht nur Emissionsstatistiken, sondern auch räumlich möglichst gut aufgelöste Karten der Ammoniakemissionen erstellt werden. Die Emissionskarten sind unter anderem eine Voraussetzung für die Anwendung von Ausbreitungsmodellen, mit welchen die Ammoniakkonzentrationen in der Luft berechnet werden. Die berechneten Konzentrationen wiederum können mit den im Feld gemessenen Immissionswerten verglichen und für die Modellierung der Depositionen verwendet werden.

Die Ammoniakemissionen der Landwirtschaft wurden in einem bottom-up Ansatz mit Hilfe der Tierzahlen und Flächenerhebungen der landwirtschaftlichen Betriebszählung 2007 (BFS 2009) und mit Hilfe der neuen Emissionsfaktoren des vorliegenden Berichts berechnet. Die Emissionen der Tierhaltung wurden nach 24 Tierkategorien, 32 Betriebsklassen (Schichtnummern) und 4 Emissionsstufen (Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlager und Hofdüngerausbringung) differenziert.

Die Betriebszählung 2007 enthält eine hektargenaue Koordinate, welche den Standort des Hauptgebäudes des Betriebes bezeichnet. Für die Kartierung wurde angenommen, dass die Emissionen der Stufen Stall/Laufhof und Hofdüngerlager als Punktquellen räumlich diesem Standort zugeordnet werden können. Die Betriebszählung umfasste 61'764 Betriebe, wovon 1'816 (entsprechend ca. 1.5 % der Emissionen) keine Koordinaten sondern nur die Gemeindefnummer aufweisen; in diesen Fällen wurden die Emissionen proportional auf die anderen Betriebe in der gleichen Gemeinde verteilt.

Für die Lokalisierung der Emissionen auf den Stufen Weide und Hofdüngerausbringung wurde angenommen, dass die damit verbundenen Aktivitäten auf dem Gebiet der Standortgemeinde verteilt sind. Diese recht grobe Näherung war nötig, da auf nationaler Ebene nicht bekannt ist, wo sich die vom Betrieb bewirtschafteten Parzellen befinden oder welche Gülleabnahmeverträge es gibt. Mit Hilfe der Arealstatistik (Hektarraster, BFS 2008) wurde die emittierende Fläche innerhalb des Gemeindegebietes auf landwirtschaftlich genutzte Landnutzungskategorien eingeschränkt. Zudem wurden bei der Verteilung der Emissionen die Nutzungskategorien je nach zu erwartender Intensität der emissionsrelevanten Nutzung verschieden gewichtet: günstiges Wies- und Ackerland erhielt das Gewicht 1, die Kategorie Bergwiesen und –weiden das Gewicht 0.25.

Die nicht-landwirtschaftlichen Quellen wurden in einem top-down Ansatz kartiert, indem die gesamtschweizerischen Emissionen pro Quellengruppe (BAFU 2009) auf die emissionsrelevanten Hektaren der Arealstatistik (BFS 2008) verteilt werden (Tabelle 10). Beim Verkehr diente das 2004 erstellte Emissionskataster (SAEFL 2004) als Grundlage: es basiert auf einem Verkehrsnetz, auf Fahrleistungen und Emissionsfaktoren für Fahrzeuge. Die Ammoniakfracht des Verkehrs für das Jahr 2007 wurde proportional zu diesem Emissionsmuster verteilt. Die Emissionsfracht der natürlichen Quellen stammt vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, (1996).

Abbildung 11 zeigt als Resultat die pro Hektare aufsummierten landwirtschaftlichen und nicht-landwirtschaftlichen Emissionen, wobei die Werte aus Gründen des Datenschutzes pro Quadratkilometer gemittelt wurden.

Tabelle 10: Nicht-landwirtschaftliche Emissionen 2007 (BAFU 2009) und ihre räumliche Zuordnung (vgl. Kap. 3.1.3)

Quellengruppe	Emission (t NH <sub>3</sub> -N)	Bodennutzungskategorien	Codes Arealstatistik 1992/97 (74 Grundkategorien)
Industrie/Gewerbe	491	Industriegebäude mit Umschwung	21, 41
Verkehr	1'026	Hauptverkehrsachsen, Siedlungsgebiet (diffuser Verkehr)	Verteilung gemäss SAEFL (2004)
Haushalte	909	Wohnhäuser, Gebäude mit Mischnutzung und Landwirtschaftsgebäude, mit Umschwung	25, 26, 27, 28, 29, 45, 46, 47, 48, 49
Abfallbewirtschaftung	365	Abwasserreinigungsanlagen, Deponien	63, 64
Natürliche Quellen	550	Wildtiere, natürliche Vegetation (Wald, unproduktive Vegetation)	11, 95, 97

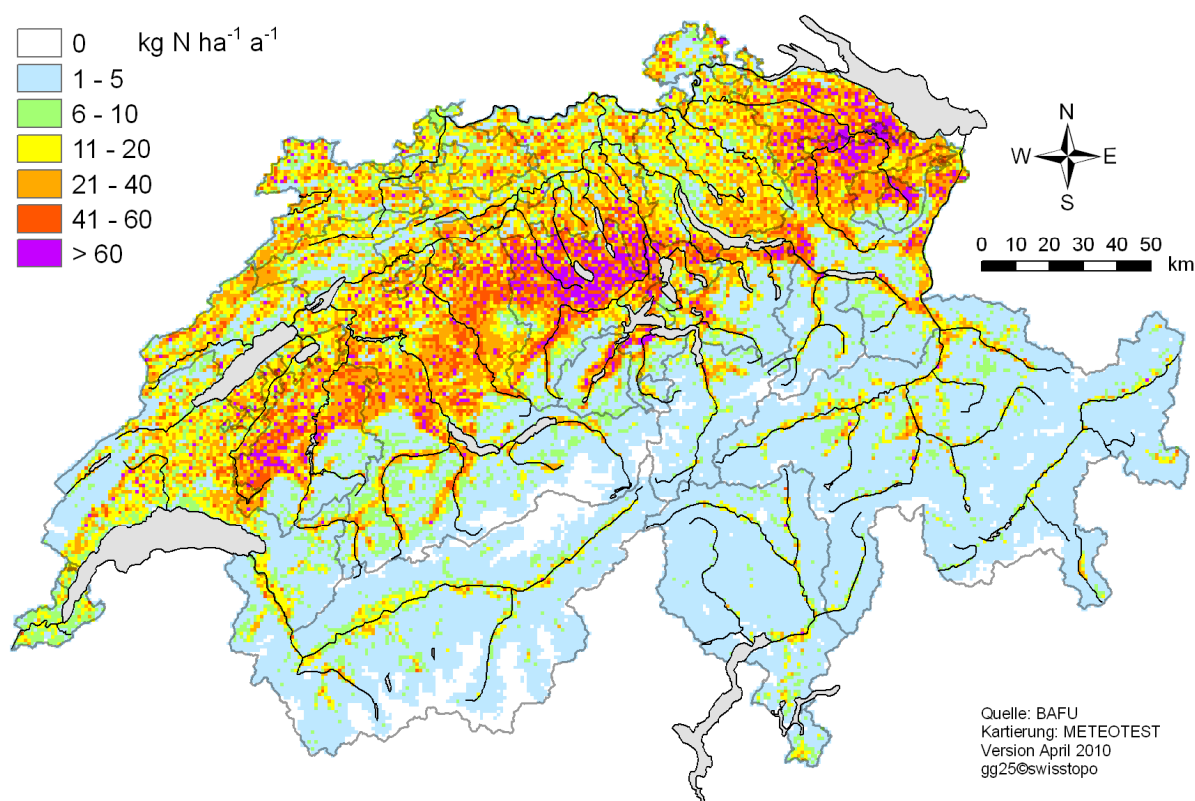


Abbildung 11: Karte der Ammoniakemissionen 2007. Einheiten kg NH<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> Jahr<sup>-1</sup>.

## 3.2 Entwicklung der Ammoniakemissionen 1990-2007

### 3.2.1 Gesamtschweizerische Ammoniakemissionen

Das Total der anthropogenen und natürlichen Emissionen nahm zwischen 1990 bis 2007 um 13 % ab (Tabelle 11). Die Abnahme war bei den landwirtschaftlichen Emissionen ähnlich hoch (-14 %). Die nicht-landwirtschaftlichen anthropogenen Emissionen nahmen um 10 % zu. Der Anteil der landwirtschaftlichen Emissionen am Total der anthropogenen und natürlichen Emissionen nahm zwischen 1990 und 2007 von 95 % auf 94 % ab. Die nicht-landwirtschaftlichen Emissio-

nen stiegen von 4 % auf 5 % an. Insgesamt wird aber die Entwicklung der gesamtschweizerischen Ammoniakemissionen nach wie vor durch die Landwirtschaft bzw. die Tierproduktion gesteuert.

Tabelle 11: Entwicklung der landwirtschaftlichen, nicht-landwirtschaftlichen, der totalen anthropogenen und natürlichen, sowie des Totals der Ammoniakemissionen der Schweiz von 1990 bis 2007. Angabe der Mengen in kt NH<sub>3</sub>-N pro Jahr und der Anteile in Prozent. Die drei Spalten rechts geben die prozentuale Veränderung der Emissionen im Vergleich zum Basisjahr 1990 an. Eine Zahl > 0 % bedeutet eine Zunahme, eine Zahl < 0 % eine Abnahme der Emissionen

	1990	1995	2002	2007	1995	2002	2007
	kt NH <sub>3</sub> -N /a				%		
Total Emissionen Tierproduktion	49.5	46.7	42.7	43.9	-6	-14	-11
Total Emissionen Pflanzenbau	7.3	6.4	5.5	5.0	-13	-25	-31
Total landwirtschaftliche Emissionen	56.8	53.0	48.2	49.0	-7	-15	-14
Total nicht-landwirtschaftliche Emissionen	2.5	2.7	2.9	2.8	8	13	10
Total anthropogene Emissionen	59.3	55.7	51.0	51.8	-6	-14	-13
Total natürliche Emissionen	0.6	0.6	0.6	0.6	0	0	0
Total anthropogene und natürliche Emissionen	59.8	56.3	51.6	52.3	-6	-14	-13
	%						
Emissionen Tierproduktion	83	83	83	84			
Emissionen Pflanzenbau	12	11	11	10			
Total landw. Emissionen	95	94	93	94			
Total nicht-landw. Emissionen	4	5	6	5			
Total anthropogene Emissionen	99	99	99	99			
Total natürliche Emissionen	1	1	1	1			
Total anthropogene und natürliche Emissionen	100	100	100	100			

### 3.2.2 Landwirtschaftliche Ammoniakemissionen

Zwischen 1990 und 2007 haben sich die gesamten landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen um 14 % vermindert (Tabelle 12). Währendem die Emissionen aus der Rindviehproduktion um 10 % sanken, haben die Verluste bei den Schweinen um 24 % abgenommen. Von 1990 bis 1995 erfolgte bei dieser Tierkategorie eine starke Abnahme (21 %) und seither ein geringer Rückgang der Emissionen. Die Emissionen aus der Geflügelproduktion nahmen zwischen 1990 und 2002 um 16 % ab, stiegen seither an und lagen 2007 um 2 % unter dem Stand des Basisjahres. Die Emissionen der anderen Tierkategorien haben um 33 % zugenommen (Pferde und übrige Equiden: 98 %; Kleinwiederkäuer: 4 %).

Das Rindvieh verursachte den grössten Teil der landwirtschaftlichen Emissionen. Der Anteil nahm von 68 % der gesamten landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen im Jahr 1990 leicht zu auf 71 % im Jahr 2007. Der Anteil der Emissionen der Schweine nahm im gleichen Zeitraum von ca. 15 % auf rund 13 % ab. Die Anteile von Geflügel und übrigen Nutztieren stiegen an, machten aber mit je rund 3 % der gesamten landwirtschaftlichen Emissionen einen relativ geringen Anteil aus.

Die Anteile der Emissionsstufen innerhalb der Tierproduktion entwickelten sich zwischen 1990 und 2007 wie folgt: die Weideemissionen nahmen um 96 % von 0.6 kt NH<sub>3</sub>-N auf 1.3 kt NH<sub>3</sub>-N und die Emissionen von Stall/Laufhof um 44 % von 10.5 kt NH<sub>3</sub>-N auf 15.1 kt NH<sub>3</sub>-N zu (Abbildung 12). Die Anteile von Lager- und Ausbringungsemissionen gingen um 21 % von 8.9 kt NH<sub>3</sub>-N auf 7.0 kt NH<sub>3</sub>-N bzw. 30 % von 29.4 kt NH<sub>3</sub>-N auf 20.5 kt NH<sub>3</sub>-N zurück. Allerdings nahmen die Lageremissionen von Gülle um 50 % von 2.9 kt NH<sub>3</sub>-N auf 4.4 kt NH<sub>3</sub>-N zu, wogegen bei der Lagerung von Mist ein Rückgang um 56 % von 6.0 kt NH<sub>3</sub>-N auf 2.7 kt NH<sub>3</sub>-N resultierte. Bei der Ausbringung war eine Reduktion für Gülle von 29 % von 23.6 kt NH<sub>3</sub>-N auf 16.6 kt NH<sub>3</sub>-N und für Mist von 34 % von 5.8 kt NH<sub>3</sub>-N auf 3.9 kt NH<sub>3</sub>-N zu verzeichnen. Die Emissionen von Punktquellen (Stall/Laufhof und Lager) machten im Jahr 1990 39 % der gesamten Emissionen aus. Ihr Anteil nahm bis 2007 auf 50 % der landwirtschaftlichen Emissionen zu. Die Zunahme erfolgte vor allem zwischen 1995 (Anteil: 40 %) und 2002 (Anteil: 50 %).

Tabelle 12: Entwicklung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen von 1990 bis 2007 von Tierproduktion und Pflanzenbau. Angabe der Mengen in kt NH<sub>3</sub>-N pro Jahr und der Anteile verschiedener Kategorien an den Gesamtemissionen der Landwirtschaft in Prozent. Die drei Spalten rechts geben die prozentuale Veränderung der Emissionen im Vergleich zum Basisjahr 1990 an. Eine Zahl > 0 % bedeutet eine Zunahme, eine Zahl < 0 % eine Abnahme der Emissionen

	1990	1995	2002	2007	1995	2002	2007
	kt NH <sub>3</sub> -N /a				%		
Rindvieh	38.5	37.5	33.2	34.7	-3	-14	-10
Schweine	8.5	6.7	7.0	6.5	-21	-18	-24
Geflügel	1.3	1.2	1.1	1.3	-9	-16	-2
Andere*	1.1	1.2	1.4	1.5	9	25	33
<b>Emissionen Tierproduktion</b>	<b>49.5</b>	<b>46.7</b>	<b>42.7</b>	<b>43.9</b>	<b>-6</b>	<b>-14</b>	<b>-11</b>
Mineralische Stickstoffdünger	3.9	2.9	2.3	2.3	-26	-40	-40
Recyclingdünger	1.0	1.1	0.8	0.3	11	-21	-67
Landwirtschaftsflächen	2.4	2.4	2.4	2.4	0	-1	-1
<b>Emissionen Pflanzenbau</b>	<b>7.3</b>	<b>6.4</b>	<b>5.5</b>	<b>5.0</b>	<b>-13</b>	<b>-25</b>	<b>-31</b>
<b>Total landw. Emissionen</b>	<b>56.8</b>	<b>53.0</b>	<b>48.2</b>	<b>49.0</b>	<b>-7</b>	<b>-15</b>	<b>-14</b>
	%						
Rindvieh	68	71	69	71			
Schweine	15	13	14	13			
Geflügel	2	2	2	3			
Andere*	2	2	3	3			
<b>Emissionen Tierproduktion</b>	<b>87</b>	<b>88</b>	<b>89</b>	<b>90</b>			
Mineralische Stickstoffdünger	7	5	5	5			
Recyclingdünger	2	2	2	1			
Landwirtschaftsflächen	4	5	5	5			
<b>Emissionen Pflanzenbau</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>			
<b>Total landw. Emissionen</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>			

\*Pferde und übrige Equiden sowie Kleinwiederkäuer

Der Anteil der Weide an den Emissionen Tierproduktion nahm zwischen 1990 und 2007 von 1.3 % auf 2.9 % zu. Der Anteil der Stufe Stall/Laufhof betrug 1990 21 % gegenüber 34 % im Jahr 2007. Der Beitrag der Hofdüngerlager veränderte sich kaum (1990: 18 %; 2007: 16 % Anteil an den Emissionen der Tierproduktion). Der Anteil der Ausbringung verminderte sich von rund 60 % auf 47 % zwischen 1990 und 2007.

Die Emissionen des Pflanzenbaus nahmen zwischen 1990 und 2007 um 31 % ab (Tabelle 12). Dies ist hauptsächlich auf den Rückgang der Emissionen der mineralischen Stickstoffdünger (-40%) und der Recyclingdünger (-67%) zurückzuführen. Die starke Reduktion der Emissionen von Recyclingdüngern wurde durch das Verbot des Klärschlammeinsatzes in der Landwirtschaft ausgelöst. Der prozentuale Beitrag der Landwirtschaftsflächen nahm von 4 % auf 5 % leicht zu. Der Anteil des Pflanzenbaus an den landwirtschaftlichen Emissionen veränderte sich zwischen 1990 und 2007 nur wenig (Abnahme von 13 % auf 10 %).

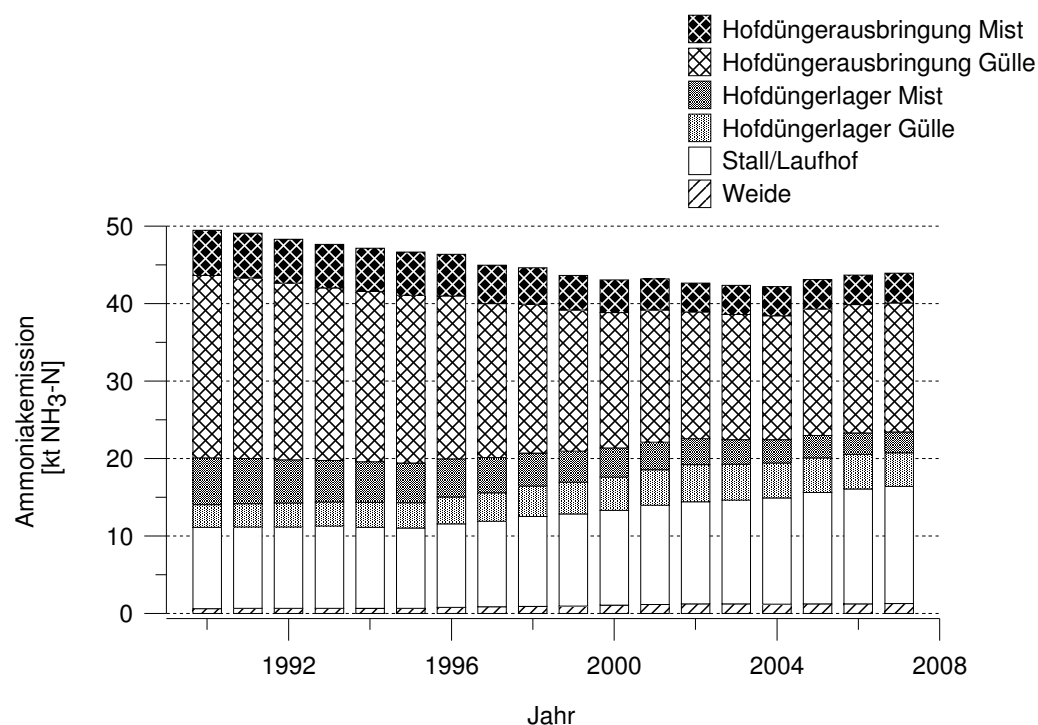


Abbildung 12: Entwicklung der Ammoniakemissionen der Tierproduktion von 1990 bis 2007 nach Emissionsstufe Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlager und Hofdüngerausbringung.

### 3.2.3 Nicht-landwirtschaftliche Ammoniakemissionen

Beim Verkehr sind die Ammoniakemissionen in erster Linie eine Folge des Einsatzes von Katalysatoren bei Benzinmotoren, indem die Stickoxide teilweise über den Luftstickstoff ( $N_2$ ) hinaus zu Ammoniak ( $NH_3$ ) reduziert werden. Die Ammoniakemissionen des Verkehrs haben mit dem zunehmenden Einsatz von Katalysatoren seit 1990 bis 2001 von 0.52 kt  $NH_3$ -N auf 1.15 kt zugenommen und anschliessend dank verbesserter Katalysatortechnik wieder leicht auf insgesamt 1.03 kt im Jahre 2007 abgenommen.

Bei der Quellengruppe Industrie/Gewerbe entstehen Ammoniakemissionen bei industriellen Prozessen wie zum Beispiel bei der Ammoniumnitrat-Herstellung, aber auch bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe mit Einsatz von DeNOx-Systemen. Die Emissionen dieser Quellengruppe haben sich seit 1990 kaum verändert und betragen im Jahre 2007 insgesamt 0.49 kt  $NH_3$ -N.

Bei der Abfallbewirtschaftung tragen Kehrrechtdeponien, Kläranlagen und Kehrrechtverbrennungsanlagen (mit DeNOx-Systemen) zu den Ammoniakemissionen bei. Die Emissionen dieser Quellengruppe haben seit 1990 von insgesamt 0.67 kt NH<sub>3</sub>-N auf 0.36 kt NH<sub>3</sub>-N im Jahre 2007 abgenommen, weil weniger Deponien betrieben und in Kläranlagen vermehrt Massnahmen zur N-Elimination eingesetzt wurden.

Bei den Haushalten tragen Haustiere (Katzen, Hunde, privat gehaltene Pferde, Esel, Ziegen und Schafe), menschlicher Atem und Schweiss, der Einsatz von Windeln, der Konsum von Tabakwaren, die Kompostierung und der Einsatz von Düngern in Gärten zu den Ammoniakemissionen bei. Die Emissionen dieser Quellengruppe haben sich zwischen 1990 und 2007 mit rund 0.9 kt NH<sub>3</sub>-N pro Jahr kaum verändert.

In Abbildung 13 sind die zeitliche Entwicklung der gesamtschweizerischen nicht-landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen von 1990 bis 2007 mit Prognosen bis 2020 sowie die Beiträge der verschiedenen Hauptquellengruppen zu den nicht-landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen dargestellt. Anhang 6.6 enthält eine detaillierte Zusammenstellung der nicht-landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen für das Jahr 2007.

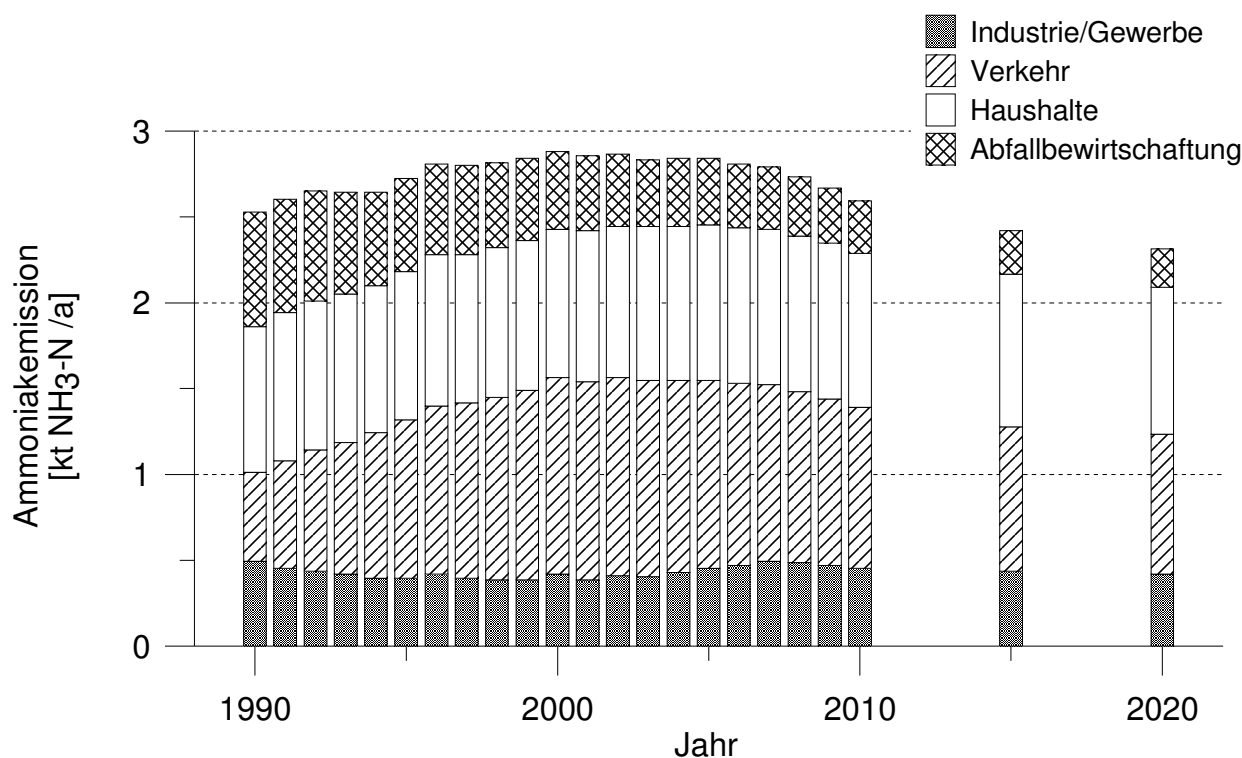


Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der nicht-landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen in der Schweiz von 1990 bis 2007 und mit Prognosen bis 2020 (in kt NH<sub>3</sub>-N pro Jahr).

### 3.3 Prognose der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bis 2020

Die Prognose der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bis 2020 basiert auf den Emissionsfaktoren von 2007 (d.h. es wird angenommen, dass sich die Produktionstechnik bis 2020 nicht verändert). Die Tierzahlen wurden von Peter et al. (2010) übernommen (vgl. Anhang 6.2). Die totalen landwirtschaftlichen Emissionen liegen im Jahr 2020 um 5.4 kt NH<sub>3</sub>-N niedriger im Vergleich zu 1990 (Tabelle 13). Die prozentualen Veränderungen der Emissionen verlaufen

zwischen 2000 und 2020 wie folgt: die Emissionen der Tierproduktion nehmen um 8 % zu. Währendem bei den Schweinen eine Abnahme der Emissionen um 6 % prognostiziert wird, wird bei Rindvieh, Geflügel sowie bei den Pferden und übrigen Equiden sowie Kleinwiederkäuern eine Zunahme um 11 %, 22 % und 15 % erwartet. Diese Entwicklung wird durch die Tierzahlen gesteuert (leichte Abnahme der Anzahl Milchkühe und Mastkälber, leichte Zunahme der Anzahl Aufzuchttrinder und Masttiere, starke Zunahme bei den Mutterkühen; leichte Abnahme bzw. Zunahme des Bestandes der Zucht- bzw. Mastschweinen, Zunahme bei den übrigen Tierkategorien). Die Emissionen des Pflanzenbaus sind weiterhin rückläufig (Abnahme um 18 %). Die totalen landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen liegen unter den gegebenen Annahmen im Jahr 2020 um 5 % über dem Niveau von 2000.

Die prozentualen Anteile der verschiedenen Tierkategorien an den Emissionen der Tierproduktion variieren nur wenig zwischen 1990 und 2020. Der Anteil der Emissionen der Tierproduktion an den totalen landwirtschaftlichen Emissionen nehmen um 4 % von 87 % auf 91 % zu, währendem beim Pflanzenbau eine Abnahme der Emissionen im gleichen Ausmass erwartet wird.

Tabelle 13: Prognose der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bis 2020 von Tierproduktion und Pflanzenbau. Angabe der Mengen in kt NH<sub>3</sub>-N pro Jahr und der Anteile verschiedener Kategorien an den Gesamtemissionen der Landwirtschaft in Prozent. Die drei Spalten rechts geben die prozentuale Veränderung der Emissionen im Vergleich zum Jahr 2000 an. Eine Zahl > 0 % bedeutet eine Zunahme, eine Zahl < 0 % eine Abnahme der Emissionen

	1990	2000	2007	2010	2020	2007	2010	2020
	kt NH <sub>3</sub> -N /a					%		
Rindvieh	38.5	33.8	34.7	37.1	37.2	3	10	11
Schweine	8.5	6.7	6.5	6.3	6.4	-6	-8	-6
Geflügel	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	12	15	22
Andere*	1.1	1.4	1.5	1.5	1.6	7	10	15
<b>Emissionen Tierproduktion</b>	49.5	43.0	43.9	46.3	46.6	2	7	8
<b>Emissionen Pflanzenbau</b>	7.3	5.7	5.0	4.7	4.7	-12	-18	-18
<b>Total landw. Emissionen</b>	56.8	48.7	49.0	51.0	51.4	0	5	5
Rindvieh	68	69	71	73	72			
Schweine	15	14	13	12	13			
Geflügel	2	2	3	3	3			
Andere*	2	3	3	3	3			
<b>Emissionen Tierproduktion</b>	87	88	90	91	91			
<b>Emissionen Pflanzenbau</b>	13	12	10	9	9			
Total landw. Emissionen	100	100	100	100	100			

\*Pferde und übrige Equiden sowie Kleinwiederkäuer

### **3.4 Vergleich der Emissionsfaktoren Kanton Luzern - Region Zentral Schweiz**

Die totalen Emissionsfaktoren des Kantons Luzern stimmen für die Mehrzahl der Tierkategorien Region Zentral Schweiz auch für die einzelnen Höhenstufen gut überein (Differenz von weniger als 10 %; Anhang 6.5). Die Differenzen sind für einige Kategorien von Geflügel, Pferde und andere Equiden sowie Kleinwiederkäuer grösser. Diese basieren meist auf einer geringen Zahl von Betrieben (<ca. 30). Die totalen Emissionsfaktoren stimmen auch für die wichtigsten Tierkategorien Milchkühe und Mastschweine gegliedert nach den einzelnen Höhenstufen mit einer Differenz von 10 % oder weniger gut überein (Anhang 6.5). Die Übereinstimmung ist zudem für die Mehrzahl der übrigen Tierkategorien gut. Abweichungen von mehr als 10 % bestehen für Aufzuchtrinder über 2-jährig, Mutterkühe, Mutterkuhkälber, säugende Sauen, Eber in der Bergzone. Für mehrere Geflügelkategorien bestehen für verschiedene Höhenstufen bedeutende Differenzen. Dies ist durch die geringe Anzahl von Betrieben bzw. den grossen Einfluss von wenigen Betrieben mit hohen Tierzahlen, welche sich in der Produktionstechnik unterscheiden, und dem entsprechenden Einfluss auf die Emissionsfaktoren erklärbar. Die Unterschiede bei den Equiden und Kleinwiederkäuern sind auf die unterschiedliche Nutzung von Laufhöfen und Weiden zurückzuführen.

Die Emissionsfaktoren von einzelnen Emissionsstufen weisen oft grosse Differenzen von bis zu ca. 100 % auf. Die Ursachen sind Unterschiede bei der Produktionstechnik (z.B. unterschiedliche Weidedauer, unterschiedliche Verbreitung von Anbindeställen und Laufställen). Dies ist oft dann der Fall, wenn diese auf einer geringen Anzahl von Betrieben basieren (z.B. Mutterkühe in Bergzone). Bei etlichen Schweine- und Geflügelkategorien weist die Emissionsstufe Weide bedeutende Differenzen auf. Dies ist dadurch zu erklären, dass Freilandhaltung bei Schweinen bzw. Ausläufe beim Geflügel im Kanton Luzern viel weniger verbreitet ist als in der Region Zentral Schweiz. Der Einfluss der Emissionsstufe Weide auf den gesamten Emissionsfaktor ist jedoch bei Schweinen und Geflügel sehr gering und für die Emissionen dieser Tierkategorien vernachlässigbar.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die totalen Emissionsfaktoren des Kantons Luzern für die Mehrzahl der Tierkategorien Region Zentral Schweiz insgesamt als auch für die einzelnen Höhenstufen gut übereinstimmen. Differenzen zwischen einzelnen Emissionsstufen sind oft zufällig verteilt und gleichen sich weitgehend aus. Der Vergleich der Emissionsfaktoren zwischen dem Kanton Luzern und der Region Zentral Schweiz stützt die Datenqualität der Umfrage und die Repräsentativität der Stichprobe zur Erhebung der Produktionstechnik.

## **4 Diskussion und Schlussfolgerungen**

### **4.1 Entwicklung von Produktionstechnik, N-Flüssen, Emissionsfaktoren und Emissionen**

#### **4.1.1 Allgemeines**

Seit den 1990er Jahren hat sich die Produktionstechnik verändert im Hinblick auf Parameter, welche für die Ammoniakemissionen von Bedeutung sind. Die Veränderungen wirken sich auf die N-Ausscheidung der Nutztiere und die Emissionsraten auf verschiedenen Emissionsstufen aus. Zudem haben sich die Tierzahlen (vgl. Kap. 2.2.1) und teilweise die Zusammensetzung der Bestände verändert. Das verwendete Stoffflussmodell kann diese Veränderungen abbilden. Mögliche Fehler bei der Emissionsstufe Weide, Stall/Laufhof oder Lagerung werden auf den nachfolgenden Stufen teilweise kompensiert. Sie beeinflussen die Gesamtemissionen deshalb nicht im gleichen Ausmass.

Um diese Entwicklungen aufzuzeigen, werden für die Hauptkategorien Milchkühe, Mastschweine und Mastpoulets die Entwicklungen von Produktionstechnik, N-Ausscheidungen und Emissionen auf den verschiedenen Stufen sowie der Gesamtemissionen im Folgenden exemplarisch zusammengefasst und diskutiert. Bei dieser Diskussion wird auch die Entwicklung der EF pro Tier auf verschiedenen Emissionsstufen mitberücksichtigt (vgl. Anhang 6.4).

#### **4.1.2 Milchkühe**

##### **4.1.2.1 N-Ausscheidung**

Bei einer mittleren jährlichen Milchleistung von 7029 kg im Jahr 2007 schied eine Milchkuh ohne weitere Korrekturfaktoren 115.7 kg N aus. Die Verabreichung von Futtermitteln, welche eine Verminderung des Proteinüberschusses in der Ration bewirken (v.a. Heu und Maissilage im Sommer), führte zu einer Abnahme der N-Ausscheidung um 3.7 kg N (3.2 %). Die Verfütterung von Krafffutter (1.6 kg pro Tag im Sommer, 2.4 kg pro Tag im Winter) hatte eine Reduktion der Ausscheidung um 1.1 kg N (1.0 %) zur Folge. Da ein grosser Anteil der Milchkühe mit hoher Milchleistung verhältnismässig hohe Krafffuttergaben erhielt, resultierte eine weitere Verminderung der gemittelten Ausscheidung der Milchkühe von 2.6 kg N und damit eine durchschnittliche N-Ausscheidung von 108.2 kg. Im Jahr 1990 lag die N-Ausscheidung aufgrund der Milchleistung bei 97.1 kg N pro Tier. Die Ergänzung der Ration sowie die Krafffuttergaben waren tiefer als 2007, so dass die Fütterung eine Reduktion der N-Ausscheidung um 1 kg N auf 96.1 kg N bewirkte.

##### **4.1.2.2 Weide**

Der deutliche Anstieg der Weideemissionen ist auf die Zunahme des Anteils geweideter Milchkühe (1990: 67 %, 2007: 98 %) und auf die Zunahme der Weidedauer um ca. 50 % zurückzuführen. Die höhere Weidedauer führte zu einer Zunahme des EF Weide der Milchkühe von rund 150 % zwischen 1990 und 2007 (Anhang 6.4; Tabelle 22). Diese Entwicklung wurde hauptsächlich durch die Einführung des RAUS-Programms ausgelöst. Aufgrund der abnehmenden Tierzahlen nahmen aber die Emissionen der Weide von den Milchkühen nur um rund 90 % zu (Tabelle 14).

##### **4.1.2.3 Stall und Laufhof**

Die deutliche Zunahme der Emissionen Stall/Laufhof ist auf die Zunahme der Laufställe und die Einführung von Laufhöfen zurückzuführen. Laufhöfe kamen 1990 noch kaum vor, 2007 hatten praktisch sämtliche Milchkühe Zutritt zu einem Laufhof (für Anbindeställe im Winter, für Laufställe oft während des ganzen Jahres).

Tabelle 14: Ammoniakemissionen der Milchkühe von 1990 bis 2007. Angabe der Mengen in kt NH<sub>3</sub>-N pro Jahr und der Anteile in Prozent. Die drei Spalten rechts geben die prozentuale Veränderung der Emissionen im Vergleich zum Basisjahr 1990 an. Eine Zahl > 0 % bedeutet eine Zunahme, eine Zahl < 0 % eine Abnahme der Emissionen

	Ammoniakemissionen				Veränderung der Emissionen im Vergleich zum Basisjahr		
	1990	1995	2002	2007	1995	2002	2007
	kt NH <sub>3</sub> -N /a				%		
Weide	0.3	0.3	0.6	0.6	12	96	90
Stall/Laufhof	3.1	3.6	4.9	5.8	16	59	85
Hofdüngerlager Gülle	1.7	2.0	2.9	2.6	18	73	58
Hofdüngerlager Mist	3.5	2.8	1.6	1.0	-20	-55	-70
Hofdüngerabfuhr Gülle	14.5	13.9	10.9	10.8	-4	-24	-25
Hofdüngerabfuhr Mist	3.4	3.0	1.7	1.7	-9	-50	-50
<b>Total</b>	26.4	25.7	22.6	22.5	-3	-14	-15
	%						
Weide	1	1	3	3			
Stall/Laufhof	12	14	22	26			
Hofdüngerlager Gülle	6	8	13	12			
Hofdüngerlager Mist	13	11	7	5			
Hofdüngerabfuhr Gülle	55	54	48	48			
Hofdüngerabfuhr Mist	13	12	8	7			
<b>Total</b>	100	100	100	100			

Zur Überprüfung der Plausibilität des Anteils von Laufställen können teilweise die Statistiken des BLWs zur Teilnahme am BTS- und am RAUS-Programm (Bundesamt für Landwirtschaft, 2009) verwendet werden. Bei Milchkühen ist ein Laufstall Voraussetzung für das BTS Programm (vgl. Ethoprogrammverordnung; Anhang 1, Ziff. 1.1; Schweiz. Bundesrat, 2008). Gemäss Umfragen zur Erhebung der Produktionstechnik wurden 2007 41 % der Milchkühe in Laufställen gehalten (2002: 27 %). Demgegenüber wurden 2007 gemäss Bundesamt für Landwirtschaft (2009) 29 % der Milchkühe in einem Stall gehalten, welcher die Anforderungen des BTS Programm erfüllte. Für 2002 lag dieser Anteil bei 19 %. Die Differenzen können damit erklärt werden, dass Betriebe mit Laufställen am BTS Programm nicht teilnehmen können, wenn spezifische Auflagen betreffend Liegebereich, Fress- und Tränkebereich nicht eingehalten werden bzw. nicht alle Rindviehkategorien in Laufställen gehalten werden, und/oder dass die Tests zur Plausibilisierung der Umfragen tendenziell eine Überschätzung des Anteils von Laufställen bewirkten. Für 1995 wurde der Anteil Milchkühe in Laufställen gemäss Saxer et al. (2004) mit 13 % angegeben. Der Anteil der Rinder-GVE in einem Stall gemäss BTS Programm lag 1996 bei 8.2 % (Bundesamt für Landwirtschaft, 2009). Für 1990 waren keine Vergleichsdaten verfügbar.

Die Teilnahme am RAUS-Programm setzt einen Laufhof voraus und verlangt für die Tiere einen Zugang von mind. 78 Tagen pro Jahr sowie mindestens 156 Weidetage pro Jahr (vgl. Ethoprogrammverordnung, Art. 4, Abs. 1, Anhang 4, Ziff. 1.1; Schweiz. Bundesrat, 2008). Im

Jahr 2007 wurden 78 % der Milchkühe in einem Betrieb gehalten, welche sich am RAUS-Programm beteiligten (2002: 66 %). Gemäss Umfragen zur Erhebung der Produktionstechnik betrug im Jahr 2007 die Anzahl der Laufhofstage für Milchkühe in Laufställen 272 Tage und in Anbindeställen 106 Tage. Die Zahl der Weidetage lag bei 181 Tagen (2002: 159 Tage).

Wie die oben aufgeführten Vergleiche zeigen, sind die Daten des BLWs zur Teilnahme am BTS- und am RAUS-Programm nur begrenzt geeignet, um die Qualität der Resultate der Umfragen von Milchkühen zu überprüfen. Im Zusammenhang mit der Modellierung der Ammoniakemissionen lässt sich aber daraus schliessen, dass der Anteil Laufställe und die Laufhofstage gemäss Umfragen zumindest nicht unterschätzt wurden. Eine Unterschätzung dieser Zahlen hätte insgesamt zu niedrige Emissionen zur Folge.

Der Anteil von Stallsystemen von Milchkühen mit Produktion von Vollgülle nahm zwischen 1990 und 2007 von 31 % auf 57 % zu. Dementsprechend ging der Anteil von Systemen mit Produktion von Gülle und Mist zurück. Diese Veränderung hatte auf die Stallemissionen aber keinen Einfluss, da im Modell für Stallsysteme mit Produktion von Vollgülle und Gülle/Mist die gleiche ER zur Anwendung kommt. Hingegen bewirkt eine Veränderung der Stallsysteme von Milchkühen eine Veränderung des N-Flusses in Gülle und Mist, was Auswirkungen auf die nachfolgenden Emissionsstufen hat.

Aufgrund der Reduktion der Tierzahlen nahmen wie bei der Weide die Stall/Laufhofemissionen der Milchkühe zwischen 1990 und 2007 weniger stark zu als der Emissionsfaktor (Zunahme um 85 % von 3.1 kt NH<sub>3</sub>-N auf 5.8 kt NH<sub>3</sub>-N; Tabelle 14).

#### **4.1.2.4 Hofdüngerlager**

Aufgrund der Zunahme von Stallsystemen mit Produktion von Vollgülle nahm der N-Fluss in die Güllelager zwischen 1990 und 2007 kontinuierlich zu. Gleichzeitig stieg das Gesamtvolumen der Hofdüngerlager um 39 % an (vgl. Tabelle 6). Der Anteil der Lagerabdeckungen veränderte sich zwischen 1990 und 2007 teilweise (Zunahme des offenen Lager von 13 % auf 17 % bzw. der perforierten Abdeckungen von 0 auf 13 %). Die Erhöhung des Lagervolumens um 39 % führte bei ungefähr gleichbleibender Tiefe der Lager zu einer Erhöhung der emittierenden Oberfläche. Zusammen mit den abnehmenden Tierzahlen führte diese Entwicklung zu einer Zunahme der Emissionen aus Milchkuh-Güllslagern um 58 % sowie zu einer Verdoppelung des entsprechenden EF (Anhang 6.4; Tabelle 22). Demgegenüber nahm der N-Fluss ins Mistlager aufgrund der Abnahme der Stallsysteme mit Produktion von Gülle und Mist um rund 50 % ab. Dies erklärt die Reduktion des EF Lager Mist von 4.4 kg auf 1.7 kg N pro Milchkuh und Jahr. Zusätzlich bewirkte die Erhöhung des Anteils von direkt ausgebrachtem Mist von 0 % der Gesamtmenge auf 22 % eine Abnahme des EF Lager Mist von rund 0.5 kg. Die Emissionen der Mistlagerung gingen insgesamt um 70 % zurück. Die gesamten Emissionen des Hofdüngerlagers reduzierten sich um 28 % (Tabelle 14).

#### **4.1.2.5 Hofdüngerausbringung**

Die Hofdüngerausbringung wurde ebenfalls stark von der Zunahme der Stallsysteme mit Produktion von Vollgülle beeinflusst. Der N-Fluss ausgangs Güllelager nahm von 1990 bis 2007 um 18 % zu, wogegen der N-Fluss ausgangs Mistlager um 60 % reduziert wurde. Insgesamt nahm der N-Fluss ausgangs Lager um 4.6 kg pro Tier bzw. 6 % ab (Tabelle 15).

Die Gülleausbringemissionen der Milchkühe nahmen um 28 % ab (von 14.5 kt NH<sub>3</sub>-N auf 10.5 kt NH<sub>3</sub>-N), jene von Mist um 56 % (von 3.8 kt NH<sub>3</sub>-N auf 1.7 kt NH<sub>3</sub>-N). Insgesamt betrug die Reduktion der Ausbringemissionen 33 % (Tabelle 14). Der Einsatz von emissionsmindernden Verfahren zur Gülleausbringung bewirkte eine durchschnittliche Abnahme des EF Ausbringung Gülle um mehr als 1 kg NH<sub>3</sub>-N pro Kuh und Jahr (Anhang 6.4; Tabelle 22).

#### 4.1.2.6 N-Fluss

Wie Tabelle 15 zeigt, lag die N-Ausscheidung pro Milchkuh 2007 um 12.1 kg bzw. 13 % höher als 1990. Der N-Fluss in die Weide übertraf im Jahr 2007 denjenigen von 1990 um 11.9 kg, was zur Folge hatte, dass in beiden Stichjahren etwa gleich viel N in die Stufe Stall/Laufhof gelangte. Aufgrund des mehr als doppelt so grossen EF Stall/Laufhof 2007 gegenüber 1990 lag der N-Fluss 2007 in das Hofdüngerlager um rund 5 % unter demjenigen von 1990. Die Summe von EF Lager Gülle und Mist waren insgesamt für beide Stichjahre etwa gleich hoch, der EF Hofdüngerausbringung lag 2007 um 11 % tiefer als 1990 (Anhang 6.4; Tabelle 22), so dass nach der Hofdüngerausbringung in beiden Stichjahren etwa gleich viel Stickstoff im Boden verblieb. Aufgrund der um ca. 0.6 kg N höheren Weideemissionen pro Milchkuh von 2007, lag die totale Ammoniakemission pro Milchkuh bzw. der Emissionsfaktor 2007 um rund 5 % höher als 1990.

Die Darstellung des N-Flusses zeigt exemplarisch, wie sich die wichtigen Grössen im System auswirken. Die Ammoniakemissionen hängen zu einem grossen Teil davon ab, wie viel Stickstoff in die Emissionsstufen Stall/Laufhof, Hofdüngerlager und Hofdüngerausbringung gelangt. Dies wird einerseits von der N-Ausscheidung und andererseits vom N-Fluss in die Weide gesteuert. In den Emissionsstufen Stall/Laufhof, Hofdüngerlager und Hofdüngerausbringung wurden total rund 40 % des  $N_{\text{tot}}$ -Flusses eingangs Stall/Laufhof als Ammoniak emittiert. Vom N-Fluss in die Weide resultierten dagegen nur rund 5 % Ammoniakemissionen. Der gesamte N-Verlust relativ zur N-Ausscheidung blieb 1990 bis 2007 nahezu konstant.

Tabelle 15: Stickstofffluss pro Milchkuh 1990, 1995, 2002 und 2007. Angegeben sind die N-Ausscheidung, der Input in die Betriebsstufen und in den Boden sowie der Verlust total (entspricht der Ammoniakemission pro Milchkuh bzw. dem Emissionsfaktor). Rechter Teil der Tabelle: prozentuale Veränderung des Stickstoffflusses im Vergleich zu 1990. Unterer Teil der Tabelle: Verluste in Prozent der N-Ausscheidung

	Stickstofffluss pro Milchkuh				Veränderung des Flusses im Vergleich zum Basisjahr		
	1990	1995	2002	2007	1995	2002	2007
	kg N/a				%		
N-Ausscheidung	96.1	98.7	103.6	108.2	2.7	7.8	13
Input Weide	7.9	9.5	18.9	19.8	19	138	150
Input Stall/Laufhof	88.1	89.2	84.7	88.4	1.2	-3.9	0.3
Input Hofdüngerlager	84.1	84.3	77.2	79.0	0.2	-8.3	-6.1
Input Hofdüngerausbringung	77.6	77.9	70.4	73.0	0.4	-9.3	-5.9
<i>Input Boden durch Ausbringung</i>	<i>54.9</i>	<i>55.0</i>	<i>51.2</i>	<i>52.7</i>	0.2	-6.6	-3.9
<i>Input Boden durch Weide*</i>	<i>7.5</i>	<i>9.0</i>	<i>18.0</i>	<i>18.9</i>	19	138	150
Input Boden total	62.4	63.9	69.2	71.6	2.5	11	15
<b>Verlust total</b>	<b>33.7</b>	<b>34.7</b>	<b>34.4</b>	<b>36.6</b>	3.1	2.1	8.8
Verluste in % N-Ausscheidung	%						
Weide	0.4	0.5	0.9	0.9			
Stall/Laufhof	4.1	5.0	7.2	8.7			
Hofdüngerlager	6.8	6.5	6.5	5.5			
Hofdüngerausbringung	24	23	19	19			
<b>Verlust total</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	*abzüglich Weideverluste		

### 4.1.3 Mastschweine

#### 4.1.3.1 N-Ausscheidung

Aufgrund des züchterischen Fortschritts und der Reduktion des Rohproteingehalts der Futtermittel reduzierte sich die N-Ausscheidung bei den Mastschweinen von 16.9 kg N im Jahr 1990 auf 11.8 kg N im Jahr 2007 (vgl. Kap. 2.2.4.1).

#### 4.1.3.2 Weide

Die Weide- bzw. Freiland- und Freilandauslaufhaltung hat in der Schweineproduktion eine geringe Bedeutung. Der Anteil an den Emissionen wird hier nicht weiter diskutiert.

#### 4.1.3.3 Stall und Laufhof

Bei den Mastschweinen nahm der Anteil von Labelställen mit Mehrflächenbucht und Auslauf zulasten von konventionellen Ställen ohne Auslauf von 0 % im Jahr 1990 auf 51 % im Jahr 2002 bzw. 63 % im Jahr 2007 zu. Zur Überprüfung der Plausibilität des Anteils von Laufställen wurden die Daten des BLWs zur Teilnahme am RAUS-Programm (Bundesamt für Landwirtschaft, 2009) verwendet. Bei Mastschweinen ist ein Labelstall mit Auslauf Voraussetzung für das RAUS-Programm (vgl. Ethoprogrammverordnung Anhang 4, Ziff. 2.1; Schweiz. Bundesrat, 2008). Der Anteil der Tiere, welche in einem Stall gemäss Vorgaben des RAUS-Programms gehalten wurden betrug 2002 52.8 % und 2007: 61.6 %. Dies stimmt mit den oben aufgeführten Zahlen gemäss Umfragen gut überein.

Obwohl die Emissionsrate von Labelställen doppelt so hoch liegt wie jene der konventionellen Ställe und trotz der starken Zunahme der Labelställe nahm der EF von Stall/Laufhof nur um 12 % von 2.9 auf 3.2 kg NH<sub>3</sub>-N pro Jahr und Mastschwein zu (Anhang 6.4; Tabelle 24). Dies ist auf die gegenüber 1990 um 31 % geringere N-Ausscheidung im Jahr 2007 zurückzuführen (Tabelle 17). Die Abnahme der Anzahl von Mastschweinen zwischen 1990 und 2007 um 14 % kompensierte die Zunahme des Emissionsfaktors, so dass die Emissionen der Stufe Stall/Laufhof im Jahr 2007 mit 2.5 kt NH<sub>3</sub>-N um 0.1 kt NH<sub>3</sub>-N tiefer lagen als im Basisjahr (Tabelle 16).

Tabelle 16: Ammoniakemissionen der Mastschweine von 1990 bis 2007. Angabe der Mengen in kt NH<sub>3</sub>-N pro Jahr und der Anteile in Prozent. Die drei Spalten rechts geben die prozentuale Veränderung der Emissionen im Vergleich zum Basisjahr 1990 an. Eine Zahl > 0 % bedeutet eine Zunahme, eine Zahl < 0 % eine Abnahme der Emissionen

	Ammoniakemissionen				Veränderung der Emissionen im Vergleich zum Basisjahr		
	1990	1995	2002	2007	1995	2002	2007
	kt NH <sub>3</sub> -N /a				%		
Stall/Laufhof	2.6	1.9	2.7	2.5	-25	3.8	-3.8
Hofdüngerlager Gülle	0.5	0.4	0.7	0.4	-15	55	-12
Hofdüngerausbringung Gülle	2.8	1.9	1.3	1.3	-31	-53	-53
<b>Total</b>	<b>5.8</b>	<b>4.2</b>	<b>4.7</b>	<b>4.2</b>	<b>-27</b>	<b>-19</b>	<b>-28</b>
	%						
Stall/Laufhof	44	46	57	59			
Hofdüngerlager Gülle	7.9	9.1	15	10			
Hofdüngerausbringung Gülle	48	45	28	31			
Total	100	100	100	100			

#### 4.1.3.4 Hofdüngerlager

Die Lageremissionen verliefen bis 2002 parallel mit den Tierzahlen. Die Abnahme des Mastschweinebestandes zwischen 1990 und 1995 um 27 % führte trotz leichter Zunahme des EF Lager in dieser Zeitspanne (Anhang 6.4; Tabelle 24) zu einer Abnahme der Lageremissionen von 15 % (Tabelle 16). Bis 2002 nahm die Tierzahl wieder zu, was in Kombination mit dem höheren EF Lager eine Zunahme der Lageremissionen bewirkte. Der anschliessende starke Rückgang der Lageremissionen zwischen 2002 und 2007 ist bedingt durch den wiederum leicht abnehmenden Bestand und vor allem durch die starke Abnahme des EF Lager, welcher in diesem Umfang jedoch nicht schlüssig geklärt werden konnte. Es ist daher davon auszugehen, dass die Lageremissionen 2007 unterschätzt sein dürften.

#### 4.1.3.5 Hofdüngerausbringung

Der Fluss ausgangs Güllelager lag 2007 um 41 % tiefer als 1990 (Tabelle 17). Dies und die Verwendung des Schleppschauchverteilers sowie der höhere Anteil der Ausbringung von Gülle am Abend erklären den um ca. 45 % tieferen EF Ausbringung von 2007 im Vergleich zu 1990. In Kombination mit der Abnahme der Tierzahl um 14 % führte dies zu einer Halbierung der Ausbringungsemissionen von Mastschweinen zwischen 1990 und 2007 (Tabelle 16).

#### 4.1.3.6 N-Fluss

Die um 5.1 kg N bzw. 30 % tiefere N-Ausscheidung vom Jahr 2007 im Vergleich zum Basisjahr führte dazu, dass 2007 pro Mastschweineplatz 30 % weniger N in das System eingeführt wurde (Tabelle 17). Damit war das Emissionspotential von Anfang an geringer. Auch der höhere EF Stall/Laufhof aufgrund des grösseren Anteils von Labelställen führte im Vergleich zu 1990 nicht zu einer Erhöhung der Gesamtverluste. Bei den Mastschweinen waren damit die bessere Futtermittelverwertung aufgrund des Zuchtfortschritts und die Verminderung des RP-Gehalts des Futters und daraus folgend die tiefere N-Ausscheidung die wichtigen Grössen für die Emissionen.

Tabelle 17: Stickstofffluss pro Mastschwein 1990, 1995, 2002 und 2007. Angegeben sind die N-Ausscheidung, der Input in die Betriebsstufen und in den Boden sowie der Verlust total (entspricht der Ammoniakemission pro Mastschwein bzw. dem Emissionsfaktor). Rechter Teil der Tabelle: prozentuale Veränderung des Stickstoffflusses im Vergleich zu 1990. Unterer Teil der Tabelle: Verluste in Prozent der N-Ausscheidung

	Stickstofffluss pro Mastschwein				Veränderung des Flusses im Vergleich zum Basisjahr		
	1990	1995	2002	2007	1995	2002	2007
	kg N/a				%		
N-Ausscheidung	16.9	16.7	13.0	11.8	-1.5	-23	-31
Input Stall/Laufhof	16.9	16.7	13.0	11.6	-1.5	-23	-32
Input Hofdüngerlager	14.1	13.7	9.5	8.3	-2.4	-32	-41
Input Hofdüngerausbringung	13.5	13.1	8.6	7.8	-3.1	-37	-42
Input Boden total	10.4	10.2	6.9	6.3	-2.6	-34	-40
<b>Verlust total</b>	<b>6.5</b>	<b>6.5</b>	<b>6.1</b>	<b>5.5</b>	0.3	-5.8	-16
Verluste in % N-Ausscheidung	%						
Stall/Laufhof	17	18	27	28			
Hofdüngerlager	3.0	3.6	7.1	4.5			
Hofdüngerausbringung	18	18	13	14			
<b>Verlust total</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>47</b>	<b>47</b>			

Der prozentuale Anteil der Verluste von Stall/Laufhof und Hofdüngerlager an der N-Ausscheidung lag 2007 mit 28 % bzw. 4.5 % deutlich über dem Stand von 1990. Der Anteil der Hofdüngerausbringung nahm dagegen leicht ab. Der totale N Verlust im Verhältnis zur Ausscheidung nahm zwischen 1990 und 2007 von 38 % N auf 47 % zu.

#### 4.1.4 Mastpoulets

##### 4.1.4.1 N-Ausscheidung

Bei den Mastpoulets betrug die N-Ausscheidung für die Jahre 1990 bis 2002 0.40 kg N pro Tier und Jahr und im Jahr 2007 0.45 kg N pro Tier und Jahr (vgl. Kap. 2.2.4.1).

##### 4.1.4.2 Weide

Beim Geflügel wird unter Weide der Zugang zu einer Weide im Sinne eines Auslaufs verstanden. Bei den Mastpoulets ist der Anteil dieser Emissionen sehr gering, da die Mastpoulets die Weide sehr wenig nutzen und lediglich ein kleiner Teil der Exkreme im Freien anfallen (Menzi et al., 1997; Tabelle 19). Zudem war der Anteil der Tiere, die Auslauf auf einer Weide haben, gering (38 % des Bestandes gemäss Umfrage 2007, 6.9 % der Mastpoulets im RAUS-Programm gemäss Bundesamt für Landwirtschaft, 2009). Aus diesen Gründen war der Anteil der Emissionen am Total sehr niedrig (weniger als 2 %; Tabelle 18).

Tabelle 18: Ammoniakemissionen der Mastpoulets von 1990 bis 2007. Angabe der Mengen in kt NH<sub>3</sub>-N pro Jahr und der Anteile in Prozent. Die drei Spalten rechts geben die prozentuale Veränderung der Emissionen im Vergleich zum Basisjahr 1990 an. Eine Zahl > 0 % bedeutet eine Zunahme, eine Zahl < 0 % eine Abnahme der Emissionen

	Ammoniakemissionen				Veränderung der Emissionen im Vergleich zum Basisjahr		
	1990	1995	2002	2007	1995	2002	2007
	kg NH <sub>3</sub> -N /a				%		
Weide	0.00	0.00	0.00	0.01	-	-	-
Stall/Laufhof	0.12	0.17	0.22	0.27	49	91	136
Hofdüngerlager Mist	0.04	0.06	0.06	0.09	62	72	152
Hofdüngerausbringung Mist	0.11	0.18	0.18	0.20	62	68	85
<b>Total</b>	<b>0.26</b>	<b>0.41</b>	<b>0.47</b>	<b>0.58</b>	57	81	121
	%						
Weide	0.0	0.5	0.9	1.9			
Stall/Laufhof	44	42	47	47			
Hofdüngerlager Mist	14	15	13	16			
Hofdüngerausbringung Mist	42	43	39	35			
Total	100	100	100	100			

##### 4.1.4.3 Stall und Laufhof

Die Emissionsfaktoren Stall/Laufhof variierten zwischen 1990 und 2007 nur wenig, da das Stallsystem nicht geändert hatte. Die einzige Änderung betrifft das Tränkesystem bzw. den Ersatz von Wasserbehältern durch Tränkenippel. Dies führte gegenüber 1990 zu einer leichten Verminderung der Emissionsfaktoren trotz höherer N-Ausscheidung bzw. höherem N-Fluss in den Stall im Jahr 2007 (Tabelle 19). Die Emissionen aus dem Stall nahmen zwischen 1990 und

2007 in Folge des grösseren Tierbestandes um mehr als 100 % von 0.12 kt NH<sub>3</sub>-N auf 0.27 kt NH<sub>3</sub>-N zu (Tabelle 18).

#### 4.1.4.4 Hofdüngerlager

Der Emissionsfaktor für die Mistlagerung veränderte sich zwischen 1990 auf 2007 kaum. Die Erhöhung des N-Flusses ins Lager und der Anteil von direkt ausgebrachtem Mist kompensierten sich gegenseitig. Damit bewirkte die Vergrösserung des Tierbestandes eine Zunahme der Lageremissionen um 152 % von 0.04 kt NH<sub>3</sub>-N im Jahr 1990 auf 0.09 kt NH<sub>3</sub>-N im Jahr 2007 (Tabelle 18).

#### 4.1.4.5 Hofdüngerausbringung

Trotz höherem N-Fluss in die Stufe Hofdüngerausbringung nahmen die Emissionen pro Tier zwischen 1990 und 2007 um 25 % ab. Dies ist vor allem auf den höheren Anteil der Einarbeitung von Mist nach der Ausbringung zurückzuführen. Der Anteil des innerhalb eines Tages oder weniger eingearbeiteten Mists wurde für 1990 mangels detaillierter Daten für alle Mistarten auf 15 % geschätzt. 2007 lag dieser Anteil für Geflügelmist gemäss Umfrage bei 52 %. Aufgrund der Vergrösserung der Tierzahl resultierte eine Zunahme der Emissionen im Zusammenhang mit der Ausbringung von Geflügelmist von Mastpoulets um 85 % von 0.11 kt NH<sub>3</sub>-N im Jahr 1990 auf 0.20 kt NH<sub>3</sub>-N im Jahr 2007 (Tabelle 18)

#### 4.1.4.6 N-Fluss

Aufgrund der höheren N-Ausscheidung im Jahr 2007 gelangte pro Mastpoulet mehr N in das System (Tabelle 19). Trotzdem war der Verlust total tiefer als 1990. Dies ist vor allem auf die niedrigeren Emissionen von Stall und Ausbringung zurückzuführen (vgl. Kap. 4.1.4.3, 4.1.4.5).

Tabelle 19: Stickstofffluss pro Mastpoulet 1990, 1995, 2002 und 2007: N-Ausscheidung, der Input in die Betriebsstufen und in den Boden sowie der Verlust total (entspricht der Ammoniakemission pro Mastschwein bzw. dem Emissionsfaktor). Rechter Teil der Tabelle: prozentuale Veränderung des Stickstoffflusses im Vergleich zu 1990. Unterer Teil der Tabelle: Verluste in Prozent der N-Ausscheidung

	Stickstofffluss pro Mastpoulet				Veränderung des Flusses im Vergleich zum Basisjahr		
	1990	1995	2002	2007	1995	2002	2007
	kg N/a				%		
N-Ausscheidung	0.400	0.400	0.400	0.450	0.0	0.0	13
Input Weide	0.000	0.002	0.002	0.005	-	-	-
Input Stall/Laufhof	0.400	0.398	0.398	0.445	-0.4	-0.6	11
Input Hofdüngerlager	0.342	0.345	0.346	0.390	0.7	1.0	14
Input Hofdüngerausbringung	0.324	0.326	0.331	0.371	0.6	2.1	15
<i>Input Boden durch Ausbringung</i>	<i>0.270</i>	<i>0.272</i>	<i>0.288</i>	<i>0.331</i>	0.5	6.7	23
<i>Input Boden durch Weide*</i>	<i>0.000</i>	<i>0.001</i>	<i>0.001</i>	<i>0.003</i>	-	-	-
Input Boden total	0.270	0.272	0.290	0.334	0.8	7	24
<b>Verlust total</b>	<b>0.130</b>	<b>0.128</b>	<b>0.110</b>	<b>0.116</b>	-1.7	-15	-11
Verluste in % N-Ausscheidung	%						
Weide	0.0	0.2	0.3	0.5			
Stall/Laufhof	14	13	13	12			
Hofdüngerlager	4.6	4.6	3.7	4.1			
Hofdüngerausbringung	13	14	11	8.9			
<b>Verlust total</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>28</b>	<b>26</b>	*abzüglich Weideverluste		

Die Stickstoffmenge, welche in den Boden gelangte, war 2007 um 24 % höher als 1990. Die Verluste betragen 1990 32 % der N-Ausscheidung. Dieser Wert nahm bis 2007 auf 26 % ab.

#### 4.2 Zeitreihe der Emissionen im Vergleich zur Zeitreihe der Immissionen

Die Ammoniak-Konzentrationen in der Luft wurden in der Schweiz im Jahre 2008 an insgesamt 44 unterschiedlich belasteten Standorten mit Passivsammlern ganzjährig gemessen. An 27 der 44 Stationen erfolgen die Messungen seit 2004, an 16 Stationen seit 2000. Die insgesamt neun Jahre Ammoniakmessung zeigen, dass sich die Immissionen an den meisten Stationen kaum verändert und an wenigen sogar leicht zugenommen haben (FUB 2009). Die nachstehende Abbildung 14 zeigt den zeitlichen Verlauf der Jahresmittel der 16 Stationen, die seit 2000 in Betrieb sind.

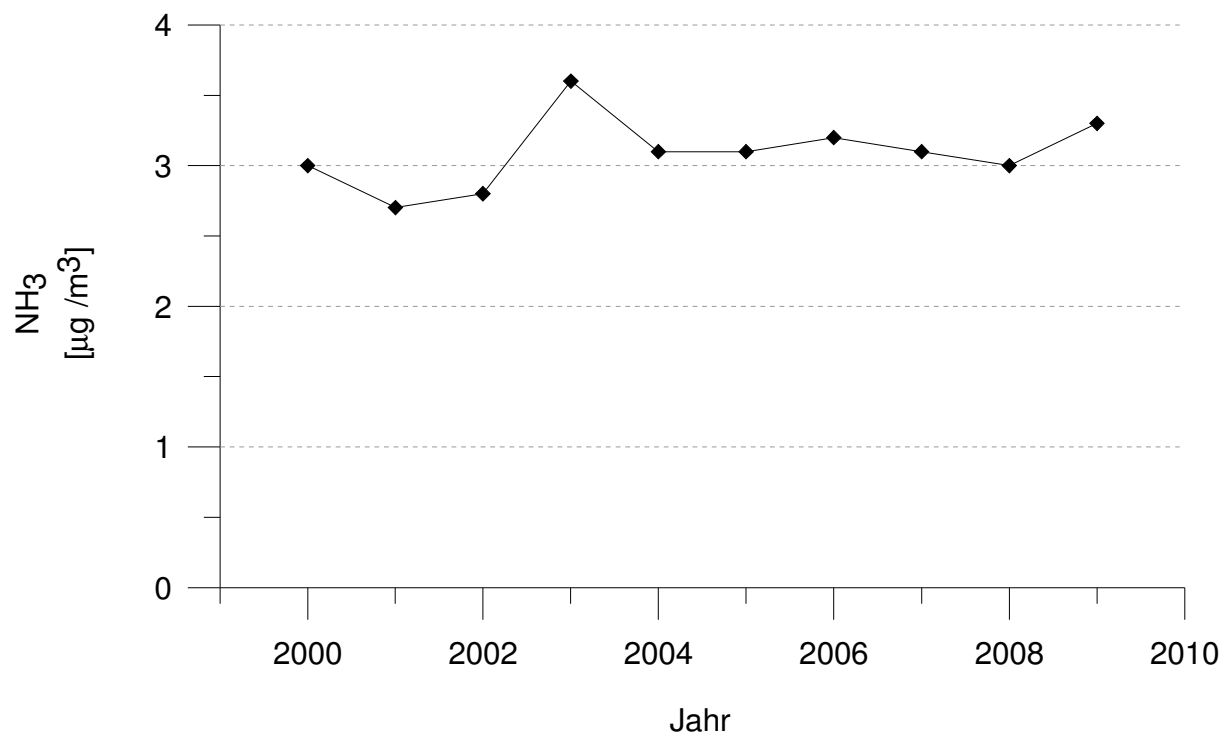


Abbildung 14: Entwicklung der Ammoniak-Immissionskonzentrationen in der Schweiz von 2000 bis 2008 (Mittel der Jahresmittel von 16 Stationen, die seit 2000 in Betrieb sind).

Messungen der OSTLUFT (Ostschweizer Kantone und Fürstentum Liechtenstein) zeigen seit 2000 ebenfalls einen Verlauf der Ammoniak-Konzentrationen auf gleich bleibendem Niveau (OSTLUFT 2009).

Im schweizerischen Messnetz NABEL wird seit 1994 in Payerne - mit einem Unterbruch zwischen 2000 und 2003 - und seit 2000 auf der Rigi-Seebodenalp die Summe der stickstoffhaltigen Gas- und Aerosolkomponenten der oxidierten und reduzierten N-Verbindungen gemessen (NABEL 2009). Eine signifikante Zu- oder Abnahme kann insgesamt nicht beobachtet werden. Während die Konzentrationen der Summen von Ammoniak und Ammonium bei Payerne seit 2000 eher auf eine leichte Abnahme hindeuten, die aber vorwiegend durch die Messwerte der letzten 2 Jahre geprägt und demnach in künftigen Jahren noch bestätigt werden muss, ist auf der Rigi-Seebodenalp seit 2000 eher eine leichte Zunahme festzustellen (Abbildung 15). Das Konzentrationsniveau der sekundären Aerosole ist - im Gegensatz zu den kleinräumig stark variierenden Ammoniak-Konzentrationen - bei vergleichbarer Höhe ü.M. eher für ein grösseres Gebiet repräsentativ. Insbesondere im Sommerhalbjahr, wenn die Luftmassen gut durchmischt werden, sind die Messwerte der Station Rigi-Seebodenalp von regionaler Bedeutung und widerspiegeln das Emissions- und Immissionsgeschehen im vorgelagerten schweizerischen Mit-

telland. Im Winter liegt die Station Rigi-Seebodenalp teilweise über der Inversionsschicht und ist so vermehrt auch überregionalen Luftmassen ausgesetzt.

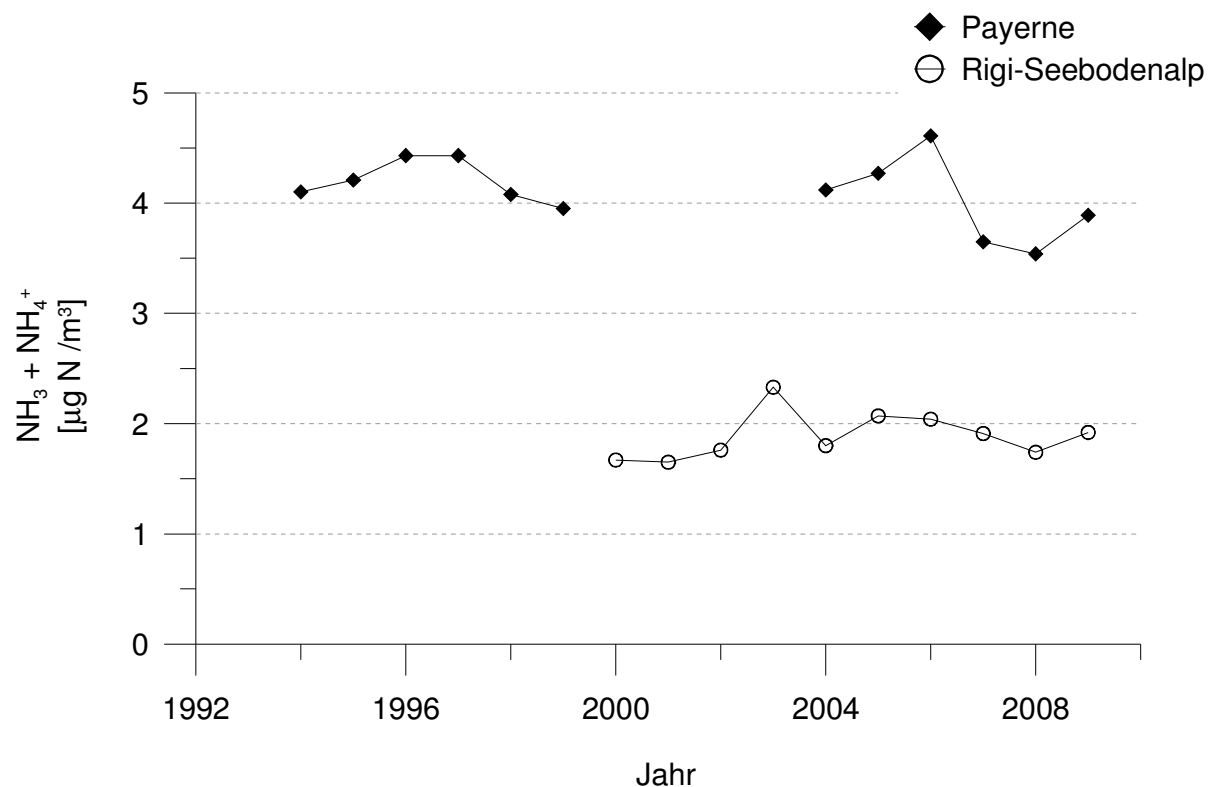


Abbildung 15: Summe des gasförmigen Ammoniaks ( $\text{NH}_3$ ) und des Ammoniums ( $\text{NH}_4^+$ ) in Aerosolen an den NABEL- Messstationen Payerne und Rigi-Seebodenalp von 1994 bis 2008.

Die Ammonium-Fracht mit den Niederschlägen wird im NABEL-Messnetz seit 1986 an zwei Stationen (Payerne, Dübendorf) und seit 1997 an fünf Stationen gemessen (Chaumont, Payerne, Dübendorf, Rigi, Tänikon, ab 2000 Magadino an Stelle von Tänikon) (NABEL 2009). Die Frachten zeigen für den Zeitraum der Messungen keine signifikante Zu- oder Abnahme (vgl. Abbildung 16). Deutlich höher als auf der Alpennordseite ist die Fracht auf der Alpensüdseite. Höhere Niederschlagsmengen auf der Alpensüdseite und Schadstoffimporte aus der italienischen Poebene tragen dazu bei. Die Ammoniumfrachten mit den Niederschlägen widerspiegeln deutlich grösserräumige Verhältnisse als zum Beispiel die lokal stark variierenden Konzentrationen des Primärschadstoffs Ammoniak. Die Frachtmessungen an den Stationen Payerne und Dübendorf sind deshalb kaum durch die lokale Emissionssituation geprägt, sondern durch die schweizerische und durch weiterräumige Beiträge insbesondere aus dem benachbarten Ausland.

In Abbildung 17 ist der mittlere Trend der Jahresmittelwerte der Ammoniumfrachten in den Niederschlägen für die zwei längsten Messreihen der Stationen Payerne und Dübendorf dargestellt.

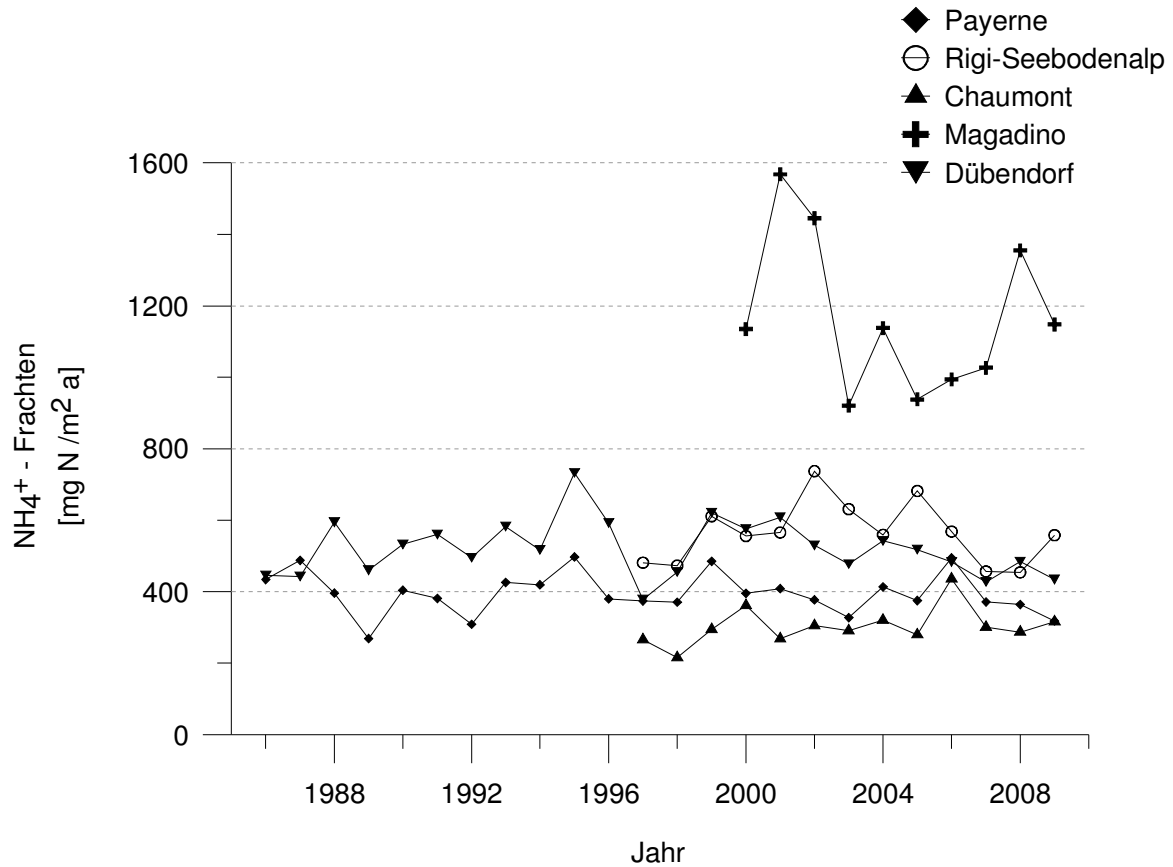


Abbildung 16: Ammoniumfracht in den Niederschlägen an verschiedenen Stationen des Messnetzes NABEL von 1986 bis 2008.

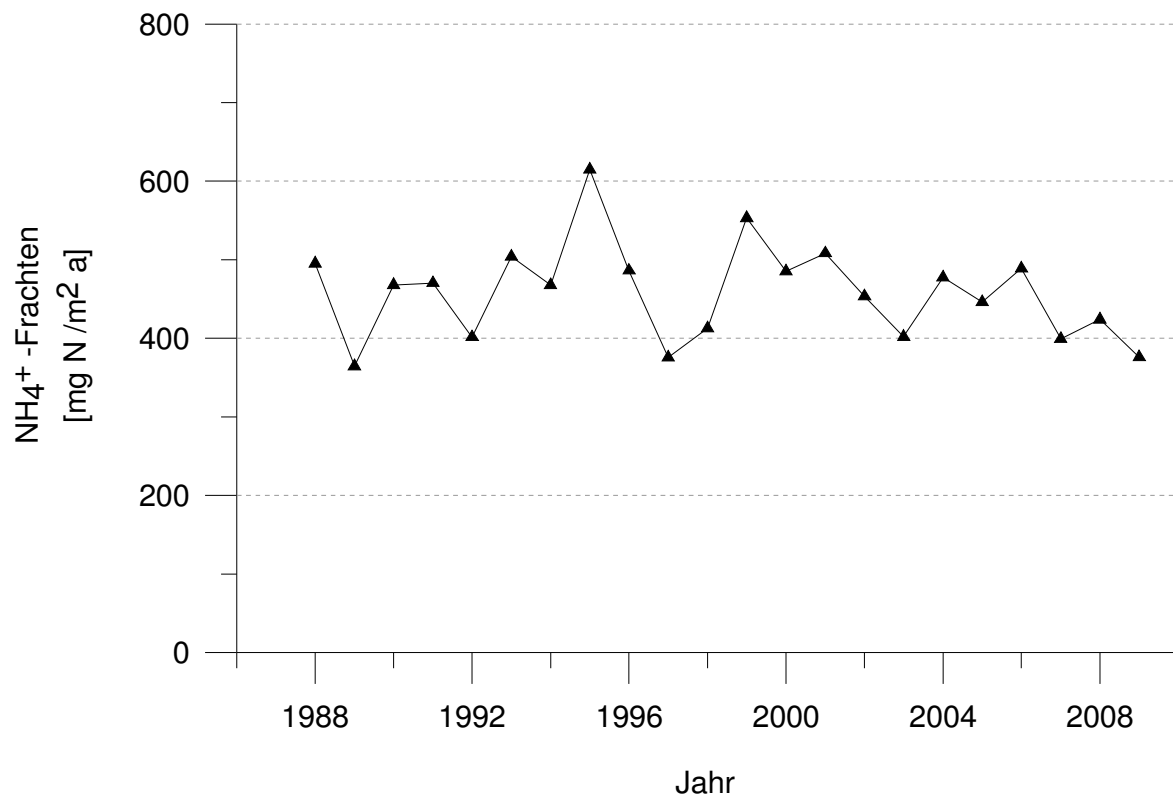


Abbildung 17: Ammoniumfracht mit dem Niederschlag: mittlerer Trend der Jahresmittelwerte der 2 NABEL Stationen Payerne und Dübendorf für die Zeitperiode von 1988 bis 2008.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die vorhandenen Ergebnisse der Immissionsmessungen bei den reduzierten N-haltigen Luftschadstoffen (Ammoniak, Ammonium) keine Hinweise auf signifikante Zu- oder Abnahmen der Belastungen seit dem Beginn der jeweiligen Messungen geben. Dies ist in einem gewissen Widerspruch zur berechneten Abnahme der Ammoniakemissionen zwischen 1990 und 2002. Ab 2002 stimmt der gemessene Immissionsverlauf dagegen mit der ganz leichten Zunahme der berechneten Emissionen gut überein. Die Datengrundlage für einen Vergleich zwischen Emissionen und Immissionen ist allerdings für den Zeitraum von 1990 bis 2000 sowohl auf der Seite der berechneten Emissionen als auch auf der Seite der vorhandenen Immissionsmessungen schlechter als für die Zeit ab 2000. So sind zwischen 1990 und 2000 viel weniger Messungen des gasförmigen Ammoniaks vorhanden als ab 2000, so dass für Vergleiche nur die wesentlich grösserräumig beeinflusste Ammoniumfracht und die ammoniumhaltigen Aerosole herangezogen werden können. Beim Input für die Berechnungen der Emissionen konnte für 1990 und 1995 nicht auf die Ergebnisse von gezielten Umfragen bei Landwirtschaftsbetrieben zurückgegriffen werden, welche erst für 2002 und 2007 durchgeführt wurden, weshalb die Beurteilung der Emissionssituation für 1990 bis 2000 stärker auf Annahmen beim Input abgestützt werden musste als ab 2002.

Vor diesem Hintergrund ist es schwierig, von einer wirklich homogenen Zeitreihe der Emissionen zwischen 1990 und 2007 zu sprechen, und ein Vergleich mit dem zeitlichen Verlauf der Immissionen kann nicht zuletzt auch wegen der geringeren Datendichte bei den Immissionen vor 2000 nicht zu einem gesicherten und solide abgestützten Ergebnis führen. Fragen in diesem Zusammenhang müssen somit teilweise offen bleiben.

Von Interesse im Zusammenhang mit der Analyse der Beziehungen zwischen Emissionen und Immissionen sind im Weiteren auch zeitlich höher aufgelöste Verläufe der Ammoniakkonzentrationen. Diese erlauben es, Hinweise zu erhalten, wie stark kurzzeitig auftretende Spitzenbelastungen von Ammoniak (z.B. nach dem Ausbringen von Hofdüngern) im Vergleich zur Hintergrundbelastung, die vorwiegend von den dauernden Emissionen aus Punktquellen wie Ställe und Lager stammen, zur Gesamtemission beitragen. Eine diesbezügliche Analyse der schweizerischen Situation unter Einbezug von unterschiedlich mit Ammoniak belasteten Standorten hat ergeben, dass im Jahresmittel die kurzzeitig auftretenden Spitzenbelastungen je nach Standort zwischen 20 und 40 % zur Gesamtbelastung beitragen (BAFU 2007). Hinweise auf die anscheinend recht grosse Bedeutung der dauernden Emissionen aus Punktquellen gibt auch ein Vergleich der in den Wintermonaten (Dezember bis Februar) gemessenen Ammoniakkonzentrationen mit jenen im Frühling, Herbst und Sommer (FUB 2009). Interessant ist, dass die im vorliegenden Bericht vorgestellten neuen Emissionsberechnungen gegenüber früheren Berechnungen der Hofdüngerausbringung einen geringeren Anteil an den Gesamtemissionen zuordnen, aber immer noch einen Anteil von 45-50% ausweisen. Hier sind also noch gewisse Unterschiede in der Bewertung aus emissions- oder immissionsseitiger Sicht festzustellen, die künftig noch vertieft analysiert werden sollten.

## **4.3 Unsicherheiten und deren Auswirkungen**

### **4.3.1 Eingabeparameter**

Aus der Art der Generierung der Eingabeparameter, welche den jeweiligen Stand der Produktionstechnik widerspiegeln, ergeben sich zwangsläufig gewisse Unsicherheiten. Die Eingabeparameter von 1990 und 1995 basieren auf Expertenannahmen und den für diese Zeit verfügbaren Unterlagen zur Produktionstechnik (vgl. Kap. 2.1.4). Somit lassen sich die „wahren“ Verhältnisse dieser Periode kaum abschliessend rekonstruieren. Man kann aber davon ausgehen, dass zumindest die wichtigen Trends korrekt abgebildet wurden. Dies liess sich mit unabhängigen Daten in vielen Fällen verifizieren. Die Zunahme von Laufställen oder Labelställen zwi-

schen 1990 und 2007 wird beispielsweise durch die Daten zur Teilnahme der Betriebe an den BTS-/RAUS-Programmen untermauert oder die Zunahme der Weide durch die Abnahme der Zahl der Motormäher gestützt. Soweit in Zukunft aufgrund neuer oder bisher nicht bekannter Quellen neue Kenntnisse resultieren, sollen diese in künftige Emissionsinventare einfließen.

Aufgrund der Methodik, auf welchen die Umfragen basieren (Schichtung der Betriebe sowie der Ziehung der Stichprobe) kann man die ausgewerteten Datensätze als repräsentativ für die Grundgesamtheit der Schweiz betrachten (Potterat, 2004). Eine eigene Überprüfung der aus den Umfragen resultierenden Datensätze (vgl. Kap. 2.1.4.2) führte zum gleichen Schluss.

Eine Auswertung der Datensätze der Umfrage 2007 hinsichtlich des Anteils fehlender und nicht eindeutiger Einträge zeigte, dass insgesamt ca. 10 % der Daten im Rahmen der Plausibilisierung korrigiert wurden. Dabei mussten zwangsläufig Annahmen getroffen werden, welche mit der Realität nicht in jedem Fall übereinstimmen. Aufgrund des verhältnismässig geringen Anteils korrigierter Daten wird die Methodik der Umfrage als zweckmässig und die Qualität der aus der Umfrage resultierenden Daten als gut eingeschätzt. Dies zeigt sich auch im hohen Rücklauf der Fragebogen. Weiter stimmten Resultate anderer Untersuchungen mit der vorliegenden Studie gut überein (z.B. Proteingehalt von Schweinefutter im Kanton Luzern; Bracher, Spring, 2010).

Wie in Kap. 2.1.5 beschrieben, wurde die Plausibilisierung in Richtung Überschätzung der Emissionen angelegt. Dieses Vorgehen vermindert das Risiko, dass die Emissionszahlen am Ende der Zeitreihe unterschätzt und damit die ausgewiesene Reduktion der Emissionen überschätzt werden.

#### **4.3.2 Technische Parameter**

Emissionsraten und Annahmen zur Wirkung verschiedener Einflussgrössen beruhen soweit möglich auf wissenschaftlichen Versuchen in der Schweiz sowie auf Daten von anderen europäischen Ländern. Die Aufbereitung der Daten erfolgte nach bestem Fachwissen. Die für das Modell verwendeten Werte wurden einer interdisziplinär zusammengesetzten Expertengruppe vorgelegt. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um eine möglichst grosse Zuverlässigkeit der technischen Parameter zu erreichen. Soweit in Zukunft aufgrund neuer oder bisher nicht bekannter Quellen neue Kenntnisse resultieren, sollen diese in das Modell integriert werden.

#### **4.4 Schlussfolgerungen**

Das gewählte Vorgehen zur Berechnung der Ammoniakemissionen von 1990 bis 2007 darf als beste verfügbare Methode bezeichnet werden. Insgesamt ist jedoch festzustellen, dass die Eingabeparameter für die 1990er Jahre weniger gut abgesichert sind als für die Zeit ab 2002. Für die Jahre 2002 und 2007 bildeten Umfragen zur landwirtschaftlichen Produktionstechnik, welche in dieser Form weltweit einmalig sein dürften, die Grundlage für die Modellrechnungen. Deshalb unterliegt die Beurteilung der Emissionssituation für 1990 bis 2002 einer stärkeren Unsicherheit als für die Zeit ab 2002.

Der Verlauf der Emissionen aus der Tierproduktion lässt sich weitgehend mit der Entwicklung der Tierbestände und den Veränderungen der Produktionstechnik erklären, die vor allem auf die neue Agrarpolitik und die darin enthaltenen Massnahmen zugunsten des Tierwohls zurückzuführen sind. Die zeitliche Entwicklung der Verteilung der Emissionen auf die verschiedenen Emissionsstufen (Zunahme des Anteils der Emissionen von Punktquellen) widerspiegelt ebenfalls die Entwicklung der Produktionstechnik. Die Immissionsmessungen, die in der Schweiz seit 2000 an 16 Stationen durchgeführt wurden, stehen nicht im Widerspruch zur modellierten Zeitreihe der Emissionen ab 2002. Allerdings kann man aufgrund der unterschiedlichen Datenquali-

tät der Eingabeparameter nicht von einer vollständig homogenen Zeitreihe der Emissionen zwischen 1990 und 2007 ausgehen. Die Untersuchung des Einflusses der Variation von Inputgrößen auf die Gesamtemissionen und einzelne Emissionsstufen (Sensitivitätsanalyse) steht noch an und wird weitere Kenntnisse hinsichtlich der Qualität der vorliegenden Resultate liefern.

Von Interesse im Zusammenhang mit der Analyse der Beziehungen zwischen Emissionen und Immissionen sind im Weiteren auch zeitlich höher aufgelöste Verläufe der Ammoniak-Konzentrationen. Diese erlauben es, Hinweise zu erhalten, wie stark kurzzeitig auftretende Spitzenbelastungen von Ammoniak (z.B. nach dem Ausbringen von Hofdüngern) im Vergleich zur Hintergrundbelastung, die vorwiegend von den dauernden Emissionen aus Punktquellen wie Ställe und Lager stammen, zur Gesamtemission beitragen. Eine diesbezügliche Analyse der schweizerischen Situation unter Einbezug von unterschiedlich mit Ammoniak belasteten Standorten hat ergeben, dass im Jahresmittel die kurzzeitig auftretenden Spitzenbelastungen je nach Standort zwischen 20 und 40 % zur Gesamtbelastung beitragen (BAFU 2007). Interessant ist, dass die im vorliegenden Bericht vorgestellten neuen Emissionsberechnungen gegenüber früheren Berechnungen der Hofdüngerausbringung einen geringeren Anteil an den Gesamtemissionen zuordnen, aber immer noch einen Anteil von 45-50% ausweisen. Allerdings muss mitberücksichtigt werden, dass wegen des hohen Anteils von ca. 80 % der Gülle, die im Futterbau verteilt über die ganze Vegetationsperiode ausgebracht wird, sich ein Teil der Ausbringemissionen vermutlich in den Immissionsmessungen nicht von den kontinuierlichen Quellen Stall/Laufhof/Lagerung unterscheiden lässt. Unterschiede in der Bewertung aus emissions- oder immissionsseitiger Sicht sollen künftig noch vertieft analysiert werden.

Insgesamt kann man davon ausgehen, dass das vorliegende Emissionsinventar die Ammoniakemissionen in der momentan bestmöglichen Weise abbildet. Daraus kann aber nicht der Anspruch von abschliessenden Resultaten abgeleitet werden. Sowohl die Methodik der Modellierung als auch die Modellparameter müssen in den nächsten Jahren weiter überprüft, verfeinert und soweit nötig angepasst werden.

## 5 Literatur

- BAFU. 2007. Analyse der zeitlichen Entwicklung von Emissionen und Immissionen sowie der Beziehung zwischen Emissionen und Immissionen bei reduzierten N-Verbindungen (Ammoniak, Ammonium). Bundesamt für Umwelt, Abteilung Luftreinhaltung und NIS, Sektion Luftqualität. Bern.
- BAFU. 2008. Emissionsdaten für Ammoniak aus der Emissionsdatenbank EMIS des BAFU für 1990 bis 2020. Pers. Mitteilung. B. Achermann. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BFS. 2008. Arealstatistik Schweiz 1992/97 - 74 Grundkategorien nach Nomenklatur 1992 (NO-AS92), Hektarraster. Bundesamt für Statistik (BFS) GEOSTAT, Neuchâtel.
- BFS. 2009. Datenauszug der Landwirtschaftlichen Betriebszählung 2007. Pers. Mitteilung. D. Bohnenblust, Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel.
- Bracher, A., Spring, P. 2010. Möglichkeiten zur Reduktion der Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen bei Schweinen. Bericht der Vorstudie. SHL Zollikofen, Agroscope Liebefeld-Posieux, Bundesamt für Landwirtschaft.
- Brändli, R.C., Bucheli, T.D., Kupper, T., Furrer, R., Stahel, W., Stadelmann, F.X., Tarradellas, J. 2007. Organic pollutants in Swiss compost and digestate. 1. Polychlorinated biphenyls, polycyclic aromatic hydrocarbons and molecular markers, determinant processes, and source apportionment. J. Environ. Monit. 9(5): 456-464.
- Bundesamt für Landwirtschaft. 2008. Förderung der Tierzucht durch den Bund und die Kantone im Jahre 2007. Bern: Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- Bundesamt für Landwirtschaft. 2009. Agrarbericht 2008 des Bundesamtes für Landwirtschaft. Bern: Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- Bundesamt für Landwirtschaft. 2009. Entwicklung der GVE-Anteile von RAUS und BTS 1993-1998 und Beteiligung am RAUS-Programm 1999-2007 (unveröffentlichte Daten). Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 1996. Luftschadstoff-Emissionen aus natürlichen Quellen in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 257. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 2000. Handbuch der Emissionsfaktoren für stationäre Quellen, Ausgabe 2000. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Candinas, T., Golder, E., Kupper, T., Besson, J.-M. 1999. Nähr- und Schadstoffe im Kompost. Agrarforschung 6(11-12): 421-424.
- Corinair Guidebook EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 3rd edition October 2002 UPDATE Technical report No 30.
- EMEP/CORINAIR. 2007. Emission Inventory Guidebook – 2007. Prepared by the UNECE/EMEP Task Force on Emission Inventories and Projections under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (UNECE). Published by the LRTAP Convention (UNECE) and the European Environment Agency (EEA).
- EMPA. 2005. Ammoniakemissionen von benzinbetriebenen Euro-3 Personenwagen. EMPA Materials Science & Technology, Untersuchungsbericht Nr. 203425 im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Empa Dübendorf.

- IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds): Published: IGES, Japan.
- Flisch, R., Sinaj, S., Charles, R., Richner, W. 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau - Kapitel 11-14. Agrarforschung 16(2), 50-71.
- FUB. 2009. Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 bis 2008. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, der OSTLUFT und der Kantone Luzern, Freiburg, Zug, Bern und Thurgau. Forschungsstelle für Umweltbeobachtung (FUB), Rapperswil.
- Hügi, M., Gerber, P., Hauser, A., Laube, A., Quartier, R., Schenk, K., Wysser, M. 2008. Abfallwirtschaftsbericht 2008. Zahlen und Entwicklungen der schweizerischen Abfallwirtschaft 2005–2007. Umwelt-Zustand Nr. 0830. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Kettler, R. 2002. Abfallstatistik 2000. Umweltmaterialien Nr. 152. Abfall. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL.
- Külling, D., Candinas, T., Stadelmann, F.X. 2002. Nährstoffe und Schwermetalle im Klärschlamm 1975 - 1999. Agrarforschung 9(5): 200-205.
- Meier, B. 2000. Neue Methodik für die Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten an der FAT. CH-8356 Tänikon: Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT) <http://www.art.admin.ch/themen/00763/00767/index.html?lang=de> (Zugriff 26.06.2009).
- Menzi, H., Shariatmadari, H., Meierhans, D., Wiedmer, H. 1997. Nähr- und Schadstoffbelastung von Geflügelausläufen. Agrarforschung 4(9): 361-364.
- Meyre, S., Steinhöfel, H., Braun, M. 2000. Einblicke in die schweizerische Landwirtschaft. Ausgabe 1999. Neuchatel: Bundesamt für Statistik (BFS).
- NABEL. 2009. Luftbelastung 2008, Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt und von der Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA. Bern, 2009.
- OSTLUFT. 2009. Luftqualität 2008 in der Ostschweiz und in Liechtenstein. OSTLUFT, Mai 2009.
- Peter, S., Hartmann, M., Bösch, I., 2010: Umsetzungsvarianten für die Einführung eines Freihandelsabkommens zwischen der Schweiz und der EU für den Agrar- und Lebensmittelbereich. Studie zuhanden des Bundesamtes für Landwirtschaft, Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie, ETH Zürich (unveröffentlicht).
- Potterat, J. 2004. Methodenbericht Landwirtschaftliche Betriebszählung 2003. Stichprobenplan der Zusatzerhebung. Neuchatel: Bundesamt für Statistik (BFS).
- Reidy, B., Menzi, H. 2006. Reduktionspotenzial der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen. Technischer Schlussbericht zuhanden BUWAL. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), Zollikofen Bern.
- Reidy, B., Rhim, B., Menzi, H. 2008. A new Swiss inventory of ammonia emissions from agriculture based on a survey on farm and manure management and farm-specific model calculations. Atmospheric Environment 42(14): 3266-3276.
- SAEFL. 2004. Modelling of NO<sub>2</sub> and benzene ambient concentrations in Switzerland 2000 to 2020. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Environmental Documentation No. 188, Berne.

- Saxer, M., Steinhöfel, H., Bohnenblust, D., Borluz, N., Murbach, F. 2004. Einblicke in die schweizerische Landwirtschaft. Ausgabe 2004. Neuchatel: Bundesamt für Statistik (BFS).
- Schjoerring, J.K., Mattsson, M. 2001. Quantification of ammonia exchange between agricultural cropland and the atmosphere: measurements over two complete growth cycles of oilseed rape, wheat, barley and pea. *Plant and Soil* 228(1): 105-115.
- Schweiz. Bundesrat, 2007. Verordnung über landwirtschaftliche Begriffe und die Anerkennung von Betriebsformen (Landwirtschaftliche Begriffsverordnung, LBV) 7. Dezember 1998 (Stand am 1. Mai 2007). Der Schweiz. Bundesrat, Bern, Schweiz.
- Schweiz. Bundesrat, 2008. Verordnung des EVD über Ethoprogramme (Ethoprogrammverordnung), 25. Juni 2008 (Stand am 1. Oktober 2008). Der Schweiz. Bundesrat, Bern, Schweiz.
- Spieß, E., 1999. Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 1995. Schriftenreihe der FAL 28. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich Reckenholz, 46pp.
- Sutton, M.A., Dragosits, U., Tang, Y.S., Fowler, D. 2000. Ammonia emissions from non-agricultural sources in the UK. *Atmospheric Environment* 34(6): 855-869.
- Treuhandstelle der Schweizerischen Düngerpflichtlagerhalter. 2007. Geschäftsbericht 2006/2007 - 57. Geschäftsjahr. Bern.
- Walther, U., Menzi, H., Ryser, J.-P., Flisch, R., Jeangros, B., Maillard, A., Siegenthaler, A., Vuilloud, P.A. 1994. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. *Agrarforschung* 1(7): 1-40.
- Walther, U., Ryser, J.-P., Flisch, R. 2001. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. *Agrarforschung* 8(6): 1-80.
- UNECE. 2007. Guidance document on control techniques for Preserving and abating emissions of ammonia. United Nations Economic and Social Council, Geneva, Switzerland (<http://daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/G07/237/85/PDF/G0723785.pdf?OpenElement>)

## 6 Anhang

### 6.1 Umfrage 2007: Anteile fehlender und nicht eindeutiger Einträge

#### Rindvieh: Aufstallung, Laufhof, Weide

	Aufstallung <sup>a</sup>		Laufhof <sup>b</sup>						Weide <sup>c</sup>			
			Typ		Zutrittsdauer		Oberfläche		Stunden/Tag		Tage/Jahr	
	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig
<b>Milchkühe</b>												
Ø Anteil pro Fragebogen	3.4%	16%	30%	0.6%	12%	0.9%	10%	12%	6.9%	0.8%	7.8%	0.4%
Ø Anteil nach Summe Tiere	1.8%	20%	24%	2.9%	6%	0.8%	6.6%	11%	4.8%	1.3%	5.6%	0.4%
Ø Bestandesgrösse total*	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Ø Bestandesgrösse betroffen**	11	26	16	95	10	17	14	19	14	33	15	19
<b>Mutterkühe</b>												
Ø Anteil pro Fragebogen	11%	36%	13%	1.3%	20%	0.8%	20%	4.5%	18%	1.0%	14%	1.0%
Ø Anteil nach Summe Tiere	5.6%	43%	8.1%	9.5%	5.8%	0.9%	5.5%	1.5%	12%	1.2%	7.5%	1.5%
Ø Bestandesgrösse total	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Ø Bestandesgrösse betroffen	8	18	10	117	4	18	4	5	10	19	8	23
<b>Aufzuchtrinder unter 1-jährig</b>												
Ø Anteil pro Fragebogen	15%	15%	33%	0.8%	30%	0.8%	27%	2.6%	24%	1.2%	24%	0.3%
Ø Anteil nach Summe Tiere	11%	19%	31%	1.2%	25%	0.9%	21%	2.4%	20%	1.8%	20%	0.3%
Ø Bestandesgrösse total	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Ø Bestandesgrösse betroffen	6	10	7	11	6	8	6	7	6	12	6	7
<b>Aufzuchtrinder 1- bis 2-jährig</b>												
Ø Anteil pro Fragebogen	13%	12%	30%	0.9%	20%	0.8%	19%	4.2%	16%	1.0%	16%	0.5%
Ø Anteil nach Summe Tiere	8.2%	17%	25%	1.3%	12%	1.1%	11%	3.7%	11%	1.5%	11%	0.5%
Ø Bestandesgrösse total	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Ø Bestandesgrösse betroffen	4	9	6	10	4	9	4	6	5	11	5	7
<b>Aufzuchtrinder über 2-jährig</b>												
Ø Anteil pro Fragebogen	19%	10%	32%	0.5%	27%	0.7%	26%	5.0%	22%	1.3%	22%	0.3%
Ø Anteil nach Summe Tiere	14%	14%	30%	0.9%	19%	1.2%	18%	4.5%	17%	1.7%	17%	0.4%
Ø Bestandesgrösse total	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ø Bestandesgrösse betroffen	3	5	4	6	3	6	3	3	3	5	3	5
<b>Mastkälber</b>												
Ø Anteil pro Fragebogen	50%	3.0%	9.6%	0.2%	20%	0.1%	19%	0.2%	82%	0.0%	82%	0.0%
Ø Anteil nach Summe Tiere	32%	4.1%	9.4%	0.1%	18%	0.0%	15%	0.1%	78%	0.0%	78%	0.0%
Ø Bestandesgrösse total	6	6	6	6	8	6	8	6	6	6	6	6
Ø Bestandesgrösse betroffen	4	9	6	3	7	2	7	2	6	-	6	-
<b>Mutterkuhkälber</b>												
Ø Anteil pro Fragebogen	9.7%	36%	13%	1.3%	21%	0.8%	21%	4.7%	18%	1.0%	14%	1.0%
Ø Anteil nach Summe Tiere	4.3%	44%	10%	12%	7.3%	1.1%	6.9%	1.9%	12%	1.2%	7.5%	1.5%
Ø Bestandesgrösse total	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Ø Bestandesgrösse betroffen	6	16	10	117	4	18	4	5	9	16	7	19
<b>Masttiere Rindviehmast</b>												
Ø Anteil pro Fragebogen	0.3%	11%	15%	0.6%	15%	0.3%	16%	0.5%	67%	0.2%	66%	0.2%
Ø Anteil nach Summe Tiere	0.5%	30%	20%	1.4%	17%	0.1%	10%	0.3%	51%	0.4%	51%	0.2%
Ø Bestandesgrösse total	18	18	18	18	26	18	26	18	18	18	18	18
Ø Bestandesgrösse betroffen	27	48	23	41	30	9	16	11	14	43	14	27

<sup>a</sup> Fragebogen Ziffer 2.1, a-e,j, <sup>b</sup> Fragebogen Ziffer 2.3, a,d-h, 2.4, a-g, <sup>c</sup> Fragebogen Ziffer 2.6, a-j

\* Durchschnittliche Bestandesgrösse aller Betriebe

\*\* Durchschnittliche Bestandesgrösse der Betriebe mit fehlender bzw. nicht eindeutigen Einträgen

**Pferde und andere Equiden, Kleinwiederkäuer: Weide**

	Weide: Stunden/Tag <sup>a</sup>		Weide: Tage/Jahr <sup>a</sup>	
	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig
<b>Pferde über 3-jährig</b>				
Ø Anteil pro Fragebogen	21%	0.2%	18%	0.4%
Ø Anteil nach Summe Tiere	17%	0.2%	9%	0.3%
Ø Bestandesgrösse total*	4	4	4	4
Bestandesgrösse betroffen**	3	4	2	3
<b>Pferde unter 3-jährig</b>				
Ø Anteil pro Fragebogen	38%	0.0%	36%	0.0%
Ø Anteil nach Summe Tiere	15%	0.0%	13%	0.0%
Ø Bestandesgrösse tot	4	4	4	4
Ø Bestandesgrösse betr.	2	-	1	-
<b>Ponies, Kleinpferde, Esel, Maultiere/Maulesel jeden Alters</b>				
Ø Anteil pro Fragebogen	39%	0.0%	36%	0.0%
Ø Anteil nach Summe Tiere	39%	0.0%	33%	0.0%
Ø Bestandesgrösse total	2	2	2	2
Ø Bestandesgrösse betroffen	2	-	2	-
<b>Schafe</b>				
Ø Anteil pro Fragebogen	39%	1.0%	34%	1.0%
Ø Anteil nach Summe Tiere	33%	1.2%	25%	0.8%
Ø Bestandesgrösse total	15	15	15	15
Ø Bestandesgrösse betroffen	13	19	12	13
<b>Milchschafe</b>				
Ø Anteil pro Fragebogen	46%	0.0%	38%	0.0%
Ø Anteil nach Summe Tiere	36%	0.0%	18%	0.0%
Ø Bestandesgrösse total	25	25	25	25
Ø Bestandesgrösse betroffen	20	-	12	-
<b>Ziegen</b>				
Ø Anteil pro Fragebogen	34%	0.4%	31%	0.0%
Ø Anteil nach Summe Tiere	15%	0.2%	26%	0.0%
Ø Bestandesgrösse total	7	7	7	7
Ø Bestandesgrösse betroffen	3	4	6	-

<sup>a</sup> Fragebogen Ziffer 2.6, a- j

\* Durchschnittliche Bestandesgrösse aller Betriebe

\*\* Durchschnittliche Bestandesgrösse der Betriebe mit fehlender bzw. nicht eindeutigen Einträgen

**Milchkühe: Fütterung Raufutter, Kraftfutter**

	Fütterung Raufutter <sup>a</sup>		Fütterung Kraftfutter <sup>a</sup>			
	Sommer	Winter	Sommer		Winter	
	Fehlend	Fehlend	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig
Ø Anteil pro Fragebogen	3.0%	4.6%	8.3%	0.6%	8.3%	0.6%
Ø Anteil nach Summe Tiere	3.1%	8.3%	5.1%	0.6%	5.1%	0.6%
Ø Bestandesgrösse total*	21	21	21	21	21	21
Bestandesgrösse betroffen**	22	38	13	23	13	23

<sup>a</sup> Fragebogen Ziffer 2.7, a-e

**Schweine: Aufstallung, Proteingehalt des Futters**

	Aufstallung <sup>a</sup>		Proteingehalt des Futters <sup>b</sup>					
	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend <sup>c</sup>	Nicht eindeutig	Phase 1 Nicht eindeutig	Phase 2 Nicht eindeutig	Phase 3 Nicht eindeutig	Phase 1-3 <sup>d</sup> Nicht eindeutig
<b>Säugende Sauen</b>								
Ø Anteil pro Fragebogen	6.3%	2.8%	13%	0.6%	-	-	-	-
Ø Anteil nach Summe Tiere	4.0%	3.1%	10%	1.8%	-	-	-	-
Ø Bestandesgrösse total*	12	12	12	12	-	-	-	-
Bestandesgrösse betroffen**	8	14	10	36	-	-	-	-
<b>Galtsauen</b>								
Ø Anteil pro Fragebogen	14%	3.4%	21%	0.0%	-	-	-	-
Ø Anteil nach Summe Tiere	4.4%	2.6%	10%	0.0%	-	-	-	-
Ø Bestandesgrösse total	33	33	33	33	-	-	-	-
Ø Bestandesgrösse betroffen	10	25	16	-	-	-	-	-
<b>Ferkel abgesetzt bis 25 kg</b>								
Ø Anteil pro Fragebogen	9.7%	1.7%	18%	1.1%	-	-	-	-
Ø Anteil nach Summe Tiere	2.6%	2.5%	12%	2.6%	-	-	-	-
Ø Bestandesgrösse total	122	122	122	122	-	-	-	-
Ø Bestandesgrösse betroffen	33	178	84	278	-	-	-	-
<b>Mastschweine</b>								
Ø Anteil pro Fragebogen	13%	6.1%	32%	-	0.3%	0.1%	0.0%	4.1%
Ø Anteil nach Summe Tiere	5.8%	9.7%	14%	-	0.3%	0.0%	0.0%	4.4%
Ø Bestandesgrösse total	98	98	98	-	98	98	98	98
Ø Bestandesgrösse betroffen	44	158	41	-	119	28	-	106

<sup>a</sup> Fragebogen Ziffer 3.1, a- e; <sup>b</sup> Fragebogen Ziffer 3.3, a- f; <sup>c</sup> für Mastschweine: Phase 1-3, a- e; <sup>d</sup> Höherer Gehalt in nachfolgender Mastphase eingegeben.

\* Durchschnittliche Bestandesgrösse aller Betriebe

\*\* Durchschnittliche Bestandesgrösse der Betriebe mit fehlender bzw. nicht eindeutigen Einträgen

**Geflügel: Aufstallung, Tränkeeinrichtung, Freilandauslauf, Entmistungsintervall Kotband**

	Aufstallung <sup>a</sup>		Tränkeeinrichtung <sup>b</sup>		Freilandauslauf <sup>b</sup>		Entmistungsintervall <sup>d</sup>	
	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig
<b>Junghennen</b>								
∅ Anteil pro Fragebogen	45%	14%	45%	5%	75%	0.0%	8.3%	50%
∅ Anteil nach Summe Tiere	14%	30%	17%	1%	68%	0.0%	7.2%	4.4%
∅ Bestandesgrösse total*	2903	2903	2903	2903	2903	2903	5649	5649
∅ Bestandesgrösse betroffen**	880	6150	1117	503	2627	-	4850	6000
<b>Legehennen</b>								
∅ Anteil pro Fragebogen	52%	5.7%	53 %	0.7%	57%	0.0%	3.7%	3.7%
∅ Anteil nach Summe Tiere	4.7%	16%	5.9%	1.2%	28%	0.0%	2.5%	3.8%
∅ Bestandesgrösse total	287	287	287	287	287	287	3640	3640
∅ Bestandesgrösse betroffen	26	826	32	487	139	-	2500	3697
<b>Mastpoulets</b>								
∅ Anteil pro Fragebogen	1.7%	0.0%	16%	0.0%	56%	0.0%	-	-
∅ Anteil nach Summe Tiere	5.0%	0.0%	2.8%	0.0%	56%	0.0%	-	-
∅ Bestandesgrösse total	6422	6422	6422	6422	6422	6422	-	-
∅ Bestandesgrösse betroffen	19267	-	1175	-	6415	-	-	-
<b>Masttruten</b>								
∅ Anteil pro Fragebogen	0.6%	0.0%	46%	0.0%	55%	0.0%	-	-
∅ Anteil nach Summe Tiere	0.8%	0.0%	34%	0.0%	35%	0.0%	-	-
∅ Bestandesgrösse total	537	537	537	537	537	537	-	-
∅ Bestandesgrösse betroffen	755	-	403	-	341	-	-	-
<b>Anderes Geflügel</b>								
∅ Anteil pro Fragebogen	7.1%	0.0%	95%	0.0%	95%	0.0%	-	-
∅ Anteil nach Summe Tiere	0.1%	0.0%	25%	0.0%	25%	0.0%	-	-
∅ Bestandesgrösse total	18	18	18	18	18	18	-	-
∅ Bestandesgrösse betroffen	0	-	5	-	5	-	-	-

<sup>a</sup> Fragebogen Ziffer 4.1, a-c; <sup>b</sup> Fragebogen Ziffer 4.1, j- k; <sup>c</sup> Fragebogen Ziffer 4.1, d- f; <sup>d</sup> Fragebogen Ziffer 4.2, a-d

\* Durchschnittliche Bestandesgrösse aller Betriebe

\*\* Durchschnittliche Bestandesgrösse der Betriebe mit fehlender bzw. nicht eindeutigen Einträgen

**Hofdüngerlagerung**

	Lagervolumen <sup>a</sup>		Lagertiefe <sup>b</sup>		Häufigkeit des Aufrührens von Gülle <sup>c</sup>		Verdünnung der Gülle <sup>d</sup>		Abdeckung der Güllebehälter <sup>e</sup>	
	Fehlend	Fehlerhaft <sup>f</sup>	Fehlend	Fehlerhaft <sup>g</sup>	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Nicht eindeutig
∅ Anteil pro Fragebogen	1.8%	7.2%	3.1%	7.4%	9.9%	1.6%	10.1%	5.0%	5.0%	13.8%
∅ Anteil nach Summe Lagervolumen	0.8%	6.1%	1.7%	4.1%	6.8%	2.0%	8.6%	6.1%	4.2%	24.0%
∅ Lagervolumen total m <sup>3*</sup>	479	479	479	479	479	479	479	479	479	479
∅ Lagervolumen betroffen m <sup>3**</sup>	217	408	267	264	328	596	407	589	402	830

<sup>a</sup> Fragebogen Ziffer 6.1, a; <sup>b</sup> Fragebogen Ziffer 6.1, b; <sup>c</sup> Fragebogen Ziffer 6.1, a- f; <sup>d</sup> Fragebogen Ziffer 6.1, a-f;

<sup>e</sup> Fragebogen Ziffer 6.1, a-f; <sup>f</sup> Lagervolumen kleiner oder gleich 50 % des berechneten Gülleanfalls; <sup>g</sup> Lagertiefe >6 m oder < 1m

\* Durchschnittliches Lagervolumen aller Betriebe

\*\* Durchschnittliches Lagervolumen der Betriebe mit fehlender bzw. nicht eindeutigen Einträgen

### Hofdüngerausbringung: Gülle

	Ausbringtechnik <sup>a</sup>			Jahreszeit bei Ausbringung <sup>b</sup>		Acker und Futterbau <sup>c</sup>		Ausbringmenge <sup>d</sup>		Witterung <sup>e</sup>		Tageszeit <sup>f</sup>
	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlerhaft <sup>g</sup>	Fehlend	Nicht eindeutig <sup>g</sup>	Fehlend	Fehlerhaft <sup>g</sup>	Fehlend	Fehlerhaft <sup>g</sup>	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend
Ø Anteil pro Fragebogen	11%	1.2%	15%	4.1%	2.5%	11%	1.9%	3.4%	2.3%	2.6%	3.1%	28%
Ø Anteil nach Summe Gülleproduktion	9.1%	1.5%	13%	3.3%	2.2%	9.4%	2.3%	2.9%	2.6%	2.1%	2.9%	24%
Ø Gülleproduktion total m <sup>3*</sup>	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435
Ø Gülleproduktion m <sup>3**</sup>	374	572	390	344	378	356	510	377	496	339	405	382

<sup>a</sup> Fragebogen Ziffer 7.1.2, a-k; <sup>b</sup> Fragebogen Ziffer 7.2, a; <sup>c</sup> Fragebogen Ziffer 7.3, a; <sup>d</sup> Fragebogen Ziffer 7.4, a-j;

<sup>e</sup> Fragebogen Ziffer 7.5.2, a-d; <sup>f</sup> Fragebogen Ziffer 7.5.1, a-d; <sup>g</sup> Summe der Einträge ≠100%

\* Durchschnittliche berechnete Gülleproduktion aller Betriebe (Berechnung der Gülleproduktion nach Flisch et al., 2009)

\*\* Durchschnittliche berechnete Gülleproduktion der Betriebe mit fehlenden bzw. nicht eindeutigen Einträgen (Berechnung der Gülleproduktion nach Flisch et al., 2009)

### Hofdüngerausbringung: Mist

	Einarbeitung von Mist <sup>a</sup>		Jahreszeit bei Ausbringung <sup>b</sup>				
	Fehlend	Nicht eindeutig	Stapelmist, Tiefstreumist	Stapelmist	Tiefstreumist	Geflügelmist	
	Fehlend	Nicht eindeutig	Fehlend	Fehlerhaft <sup>c</sup>	Fehlerhaft <sup>c</sup>	Fehlend	Fehlerhaft <sup>c</sup>
Ø Anteil pro Fragebogen	35%	4.7%	7.2%	1.1%	0.7%	32%	0.8%

<sup>a</sup> Fragebogen Ziffer 7.1.4, a-g; <sup>b</sup> Fragebogen Ziffer 7.2, b,d; <sup>c</sup> Summe der Einträge ≠100%

### Verbrauch stickstoffhaltiger Mineraldünger

	Mineralischer Stickstoff <sup>a</sup>	Anteil Harnstoff <sup>b</sup>
	Fehlend	Fehlerhaft <sup>c</sup>
Ø Anteil pro Fragebogen	14%	0.4%
Ø Anteil nach landw. Nutzfläche	12%	0.3%
Ø landw. Nutzfläche total ha*	22	22
Ø landw. Nutzfläche ha**	19	19

<sup>a</sup> Fragebogen Ziffer 8.1.1; <sup>b</sup> Fragebogen Ziffer 8.1.2; <sup>c</sup> Einträge > 100%

\* Durchschnittliche Fläche LN aller Betriebe

\*\* Durchschnittliche Fläche LN der Betriebe mit fehlenden bzw. nicht eindeutigen Einträgen

## 6.2 Tierzahlen 1990, 1995, 2000, 2002, 2007, 2010 und 2020

Für die Berechnung der Ammoniakemissionen verwendete Tierzahlen der Jahre 1990, 1995, 2000, 2002 und 2007 (Quelle: BFS, 2009) sowie 2010 und 2020 (Quelle: Peter et al., 2010)

Tierkategorie	1990	1995	2000	2002	2007	2010	2020
Milchkühe	783100	739641	669410	657924	614795	641676	610520
Mutterkühe	12000	23000	236041	58103	93545	119210	153020
Aufzuchtrinder unter 1-jährig	346400	294738	221864	229514	223261	239964	242446
Aufzuchtrinder 1- bis 2-jährig	253300	238564	129767	219092	210491	216247	221611
Aufzuchtrinder über 2-jährig	150700	139357	44882	126028	109072	111469	114234
Mastkälber	112300	101686	35661	114405	100476	95019	98926
Mutterkuhkälber	9600	18400	147128	46925	72166	92173	118315
Masttiere	187800	192888	103252	141706	147958	170456	158526
Säugende Sauen	37002	39599	104783	36499	34876	31978	31831
Galtsauen	142398	113168	36665	108582	105680	103348	102871
Ferkel abgesetzt (bis 25 kg)	359300	329707	296628	326586	344754	332385	342727
Eber	8400	7112	6248	5784	4170	3883	3865
Mastschweine und Remonten	894400	651300	750869	767887	766890	754689	778170
Legehennen	3083000	2118248	2150303	2154133	2197685	2254875	2254875
Junghennen	718900	714448	831663	753918	901798	919008	919008
Mastpoulets	2019900	3230958	3807754	4298170	5002357	5407489	6067916
Masttruten	97961	168150	172582	123905	112459	53809	53809
Übriges Geflügel	11739	8850	8593	8490	13880	14738	14738
Pferde über 3-jährig	35900	30364	40214	41709	48078	50268	55029
Pferde unter 3-jährig	9400	11005	10133	9527	9642	9778	10705
Ponies, Kleinpferde, Esel, Maultiere/Maulesel jeden Alters	7170	8270	11808	13209	17161	18133	19851
Schafe	190600	191382	216646	219877	229985	229396	229396
Milchschafe	4265	5498	6684	7159	10212	10719	10719
Ziegen	39800	30951	39560	43003	51878	53422	53422

## 6.3 Emissionen typischer Einzelbetriebe

### 6.3.1 Einleitung

Das vorliegende Kapitel enthält eine exemplarische Darstellung der Ammoniakemissionen eines typischen Milchwirtschafts- und eines gemischten Betriebs im Mittelland. Bei beiden Betrieben werden wichtige Parameter (Weidedauer, Aufstallung, Abdeckung Güllelager, Verwendung von emissionsmindernden Verfahren zur Hofdüngerausbringung) variiert. Mittels verschiedener Szenarien wird deren Einfluss auf die Emissionen aufgezeigt.

### 6.3.2 Milchwirtschaftsbetrieb

Der Tierbestand des Milchwirtschaftsbetriebs beträgt 30 Milchkühe plus Jungvieh (Tabelle 20). Im Basisszenario werden die Tiere in einem Laufstall mit Produktion von Vollgülle gehalten. Die Tiere haben Zutritt zu einem Laufhof. Während der Vegetationszeit sind die Milchkühe halbtags und die Aufzuchtrinder ganztags auf der Weide. Der Betrieb hat ein Güllelager von 550 m<sup>3</sup> mit fester Abdeckung. Die Hofdüngerausbringung erfolgt zu 100 % mittels Druckfass mit Prallteller. Der gesamte N-Fluss dieses Betriebs beträgt 5600 kg N<sub>tot</sub>. Davon sind 4100 kg N<sub>tot</sub> auf die Ausscheidungen der Tiere und 1500 kg N<sub>tot</sub> auf den Mineraldüngerverbrauch zurückzuführen.

Tabelle 20: Eckdaten des untersuchten Milchwirtschaftsbetriebs (Basisszenario)

<b>Tierhaltung</b>	
Anzahl Tiere	
Milchkühe (Milchleistung: 6800 l pro Jahr)	30
Aufzuchtrinder unter 1-jährig	8
Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig	5
Aufzuchtrinder über 2-jährig	5
Aufstallung, Laufhof, Weide Rindvieh	
Aufstallung	Laufstall mit Produktion von Vollgülle für alle Tiere
Jährliche Zutrittsdauer zum Laufhof	Milchkühe: 200 Tage; Aufzuchtrinder unter 1-jährig: 215 Tage; Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig: 165 Tage; Aufzuchtrinder über 2-jährig: 200 Tage
Jährliche Weidetage	Milchkühe: 165 Tage; Aufzuchtrinder unter 1-jährig: 150 Tage; Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig: 200 Tage; Aufzuchtrinder über 2-jährig: 165 Tage
Tägliche Weidestunden	Milchkühe: 8 Stunden; Aufzuchtrinder unter 1-jährig: 12 Stunden; Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig: 24 Stunden; Aufzuchtrinder über 2-jährig: 24 Stunden
<b>Hofdüngerlager</b>	
Güllelager	1 Behälter à 550 m <sup>3</sup> , mit fester Abdeckung
<b>Hofdüngerausbringung</b>	
Gülle	100 % Prallteller
<b>Pflanzenbau</b>	
Landwirtschaftliche Nutzfläche	30 ha
Verbrauch von mineralischen Stickstoffdüngern	1500 kg N pro Jahr

Die Gesamtemissionen des Betriebs betragen für das Basisszenario 1466 kg NH<sub>3</sub>-N pro Jahr (Abbildung 18). Dies entspricht 48.9 kg NH<sub>3</sub>-N /ha LN. Die Tierproduktion macht mit 1376 kg NH<sub>3</sub>-N pro Jahr den grössten Anteil an den Emissionen aus (94 %). Innerhalb der Tierproduktion stammen 59 % von der Hofdüngerausbringung. Stall und Laufhof verursachen 35 % der Verluste der Tierproduktion, Weide und Hofdüngelager je rund 3 %. Der Pflanzenbau ist hinsichtlich Emissionen von geringer Bedeutung (6 % der Gesamtemissionen), wobei die landwirtschaftliche Nutzfläche doppelt so hohe Emissionen verursacht wie die mineralischen Stickstoffdünger.

Bei Umstellung von Halbtagesweide auf Ganztagesweide würden sich die Weideemissionen verdoppeln (Szenario „Ganztagesweide“; Abbildung 18). Dagegen nehmen die Verluste auf den Stufen Stall/Laufhof sowie Hofdüngerausbringung um 12 bzw. 29 % ab. Die emittierte Menge von Ammoniak des ganzen Betriebs sinkt um 17 %.

Der Milchwirtschaftsbetrieb mit Anbindestall anstelle des Laufstalls würde auf Stufe Stall/Laufhof rund die Hälfte der Emissionen einsparen. Dieser Reduktion steht eine Zunahme der Ammoniakfreisetzung bei der Hofdüngerausbringung von 15 % gegenüber. Der Gesamtbetrieb emittiert 8 % weniger Ammoniak im Vergleich zum Basisszenario.

Ein Güllelager ohne Abdeckung würde rund zehn Mal höhere Lageremissionen und eine Abnahme der Emissionen bei der Hofdüngerausbringung um 25 % bewirken. Die Gesamtemissionen des Betriebs nehmen um 13 % zu. Der Einsatz eines Schleppschlauchverteilers anstelle eines Pralltellers hat eine Emissionsreduktion bei der Hofdüngerausbringung um 30 % sowie der Gesamtemissionen des Betriebs um 17 % zur Folge.

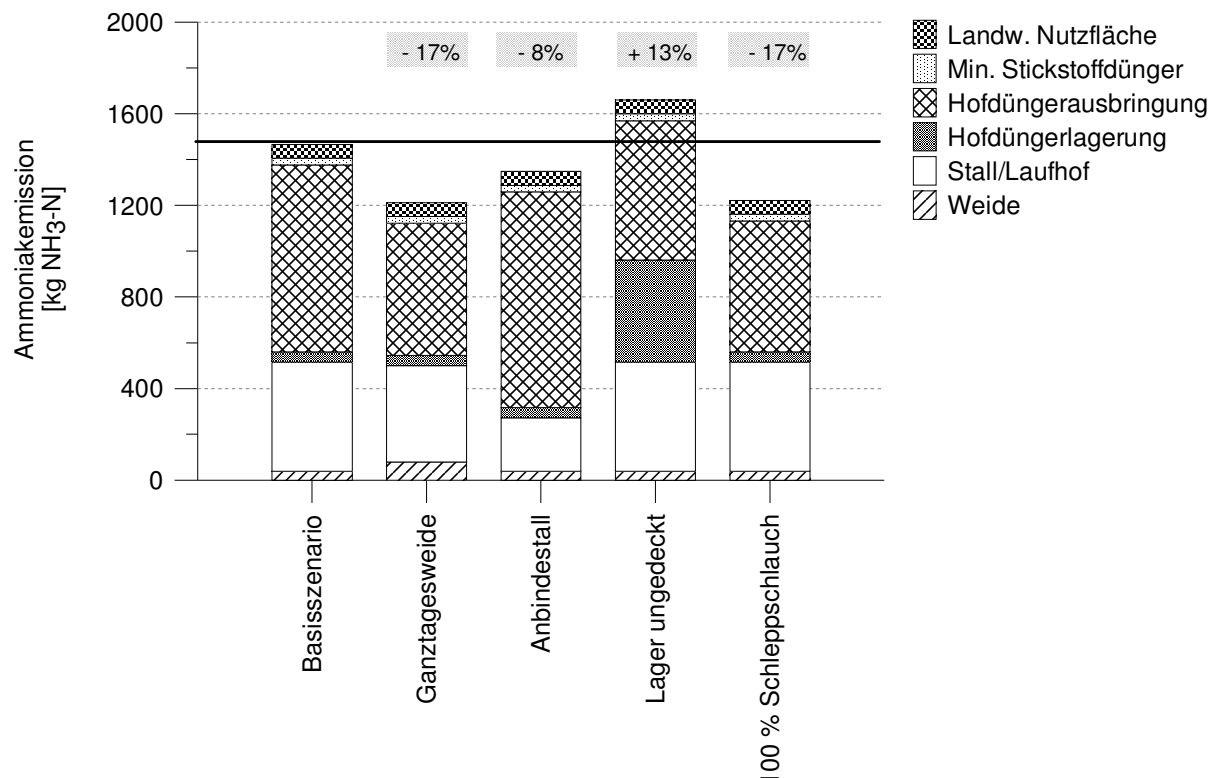


Abbildung 18: Ammoniakemissionen des untersuchten Milchwirtschaftsbetriebs für das Basisszenario und die Szenarien Ganztagesweide (Basisszenario: Halbtagesweide), Anbindestall (Basisszenario: Laufstall), ungedecktes Güllelager (Basisszenario: Güllelager mit fester Abdeckung) und Schleppschlauch (Basisszenario: Prallteller) in kg NH<sub>3</sub>-N /a.

### 6.3.3 Gemischter Betrieb

Der Rindviehbestand des gemischten Betriebs und die Parameter der Tierhaltung sowie von Hofdüngerlager und –ausbringung sind gleich wie beim Milchwirtschaftsbetrieb (Tabelle 21). Zusätzlich hat der Betrieb 100 Mastschweine, welche in einem Labelstall mit Mehrflächenbucht und Auslauf gehalten werden. Der gesamte N-Fluss dieses Betriebs beträgt 5509 kg N<sub>tot</sub>. Davon sind 5209 kg N<sub>tot</sub> auf die Ausscheidungen der Tiere und 300 kg N<sub>tot</sub> auf den Mineraldüngerverbrauch zurückzuführen.

Tabelle 21: Eckdaten des untersuchten gemischten Betriebs (Basisszenario)

<b>Tierhaltung</b>	
Anzahl Tiere	
Milchkühe (Milchleistung: 6800 l pro Jahr)	30
Aufzuchtrinder unter 1-jährig	8
Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig	5
Aufzuchtrinder über 2-jährig	5
Mastschweine	100
Aufstallung, Laufhof, Weide Rindvieh	
Aufstallung	Laufstall mit Produktion von Vollgülle für das Rindvieh
Jährliche Zutrittsdauer zum Laufhof	Milchkühe: 200 Tage; Aufzuchtrinder unter 1-jährig: 215 Tage; Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig: 165 Tage; Aufzuchtrinder über 2-jährig: 200 Tage
Jährliche Weidetage	Milchkühe: 165 Tage; Aufzuchtrinder unter 1-jährig: 150 Tage; Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig: 200 Tage; Aufzuchtrinder über 2-jährig: 165 Tage
Tägliche Weidestunden	Milchkühe: 8 Stunden; Aufzuchtrinder unter 1-jährig: 12 Stunden; Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig: 24 Stunden; Aufzuchtrinder über 2-jährig: 24 Stunden
Aufstallung, Schweine	Labelstall mit Mehrflächenbucht und Auslauf
<b>Hofdüngerlager</b>	
Güllelager	1 Behälter à 700 m <sup>3</sup> , mit fester Abdeckung
<b>Hofdüngerausbringung</b>	
Gülle	100 % Prallteller
<b>Pflanzenbau</b>	
Landwirtschaftliche Nutzfläche	30 ha
Verbrauch von mineralischen Stickstoffdüngern	800 kg N pro Jahr

Die Gesamtemissionen des Betriebs betragen für das Basisszenario 2024 kg NH<sub>3</sub>-N pro Jahr bzw. 67.5 kg NH<sub>3</sub>-N /ha LN (Abbildung 19). Die Tierproduktion macht mit 1948 kg N pro Jahr den grössten Anteil an den Emissionen aus (96 %). Innerhalb der Tierproduktion stammen 50 % von der Hofdüngerausbringung. Die von Stall und Laufhof verursachten Ammoniakverluste betragen 872 kg NH<sub>3</sub>-N pro Jahr, was 45 % der Emissionen der Tierproduktion entspricht. Weide und Hofdüngerlager tragen 2 % bzw. 3 % zu den Emissionen der Tierproduktion bei. 71% der Emissionen der Tierproduktion stammen vom Rindvieh und 29 % von den Mastschweinen. Auf den Stufen Hofdüngerlager und –ausbringung verursacht das Rindvieh rund 80 % der Am-

moniakverluste. Die Emissionen von Stall/Laufhof sind bei den Schweinen nur um etwa 15 % tiefer als bei den Rindern.

Der Pflanzenbau ist wie beim Milchwirtschaftsbetrieb hinsichtlich Emissionen von geringer Bedeutung (4 % der Gesamtemissionen). Die mineralischen Stickstoffdünger tragen rund 20 % zu den Emissionen des Pflanzenbaus bei.

Wie beim Milchwirtschaftsbetrieb würden sich bei Umstellung von Halbtagesweide auf Ganztagesweide die Weideemissionen etwa verdoppeln (Szenario „Ganztagesweide“; Abbildung 19). Die Emissionen auf den Stufen Stall/Laufhof und Hofdüngerausbringung nehmen um 6 bzw. 24 % ab. Die emittierte Menge von Ammoniak des ganzen Betriebs sinkt um 12 %.

Ein Anbindestall anstelle des Laufstalls würde auf Stufe Stall/Laufhof eine Reduktion der Emissionen um 28 % und eine Zunahme der Ammoniakfreisetzung bei der Hofdüngerausbringung um 13 % auslösen. Der Gesamtbetrieb emittiert 6 % weniger Ammoniak im Vergleich zum Basisszenario. Die Auswirkungen wären ähnlich, wenn die Mastschweine in einem konventionellen Stall und nicht in einem Labelstall gehalten würden.

Ein Güllelager ohne Abdeckung würde auch beim gemischten Betriebe rund zehn Mal höhere Lagerverluste und eine Emissionsminderung bei der Hofdüngerausbringung bewirken. Die Gesamtemissionen des Betriebs nehmen um 14 % zu. Der Einsatz eines Schleppschlauchverteilers anstelle eines Pralltellers hat eine Reduktion der Emissionen bei der Hofdüngerausbringung um 30 % sowie der Gesamtemissionen des Betriebs um 14 % zur Folge.

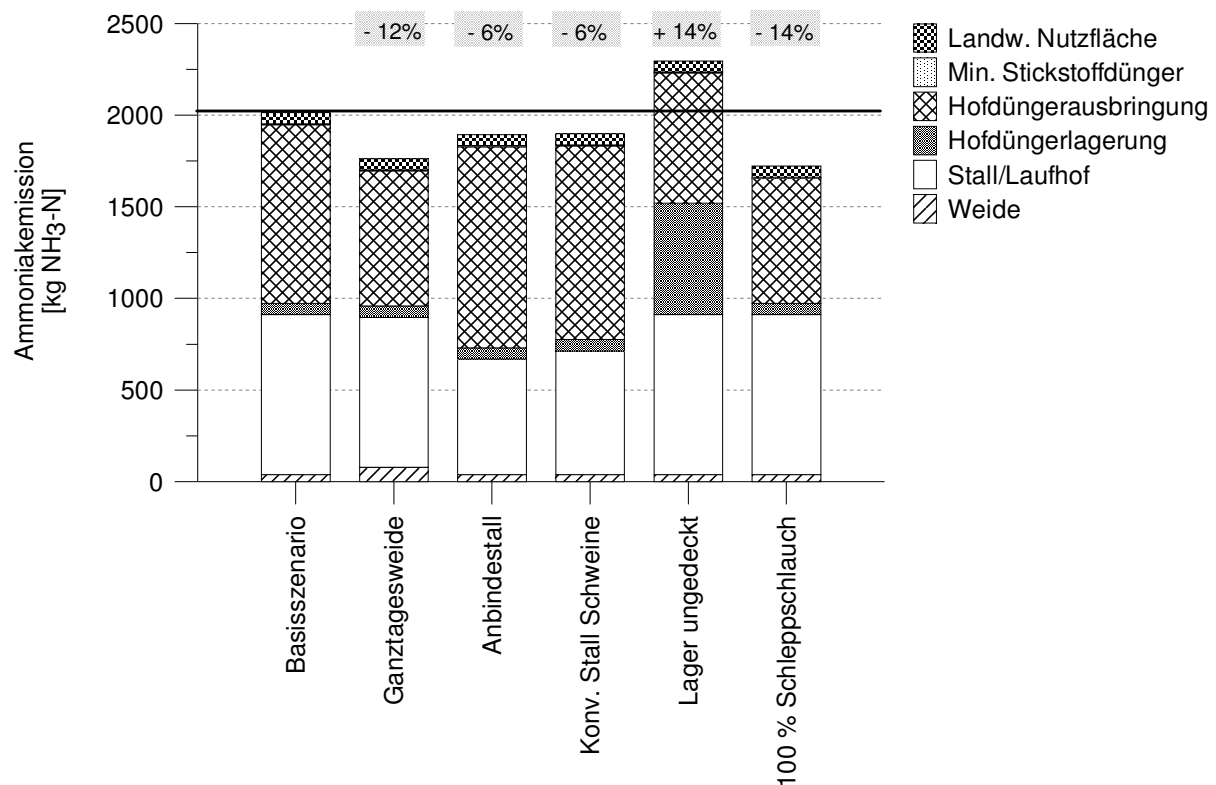


Abbildung 19: Ammoniakemissionen des untersuchten gemischten Betriebs für das Basisszenario und die Szenarien Ganztagesweide (Basisszenario: Halbtagesweide), Anbindestall (Basisszenario: Laufstall), ungedecktes Güllelager (Basisszenario: Güllelager mit fester Abdeckung) und Schleppschlauch (Basisszenario: Prallteller) in kg NH<sub>3</sub>-N /a.

## 6.4 Entwicklung der mittleren Emissionsfaktoren von 1990, 1995, 2002 und 2007

### 6.4.1 Einleitung

Die Entwicklung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen hängt neben der Tierzahl von den Emissionsfaktoren bei den einzelnen Tierkategorien ab. Diese werden durch die Produktionstechnik und das Hofdüngermanagement beeinflusst. Im vorliegenden Kapitel werden die Auswirkungen der Produktionstechnik auf die Emissionsfaktoren am Beispiel der wichtigsten Tierkategorien aufgezeigt.

### 6.4.2 Milchkühe

Der EF Weide der Milchkühe stieg zwischen 1990 und 2007 um rund 150 % an (Tabelle 22). Dies ist auf folgende Änderungen der Produktionstechnik zurückzuführen: Zunahme der durchschnittlichen jährlichen Weidetage von 135 auf 181 und der durchschnittlichen täglichen Weidestunden von 8 auf 8.5. Zudem nahm der Anteil der Milchkühe ohne Zugang zu Weide von 33 % auf 2 % ab. Weiter bewirkte die Zunahme der Verabreichung von Kraftfutter sowie von Heu und Maissilage während der Sommerfütterung eine Begrenzung hinsichtlich Proteinübersorgung der Tiere und damit der N-Ausscheidung.

Der EF von Stall/Laufhof nahm zwischen 1990 und 2007 um 136 % zu. Dies ist auf die Zunahme der Laufställe und die Einführung von Laufhöfen zurückzuführen (Anteil der Milchkühe in Laufställen 1990: 6 %; 2007: 41 %). Laufhöfe kamen 1990 noch kaum vor, 2007 hatten praktisch sämtliche Milchkühe Zutritt zu einem Laufhof.

Der EF der Güllelager verdoppelte sich aufgrund der Zunahme von Stallsystemen mit Produktion von Vollgülle (1990: 31 %; 2007: 57 % der Milchkühe) und der Anpassung des Güllelagervolumens an die gesetzlichen Vorgaben (Tabelle 6). Dies führte zu einer Erhöhung der emittierenden Oberfläche um ca. 30 % bei leichter Abnahme des Anteils gedeckter Lager. Damit lässt sich eine Erhöhung des EF um ca. 0.8 kg NH<sub>3</sub>-N erklären. Die verbleibenden 1.3 kg NH<sub>3</sub>-N dürften durch Unterschiede bei der Art der Lagerabdeckung sowie durch die leicht höhere Häufigkeit des Aufrührens der Lager im Jahr 2007 im Vergleich zu 1990 zurückzuführen sein. Dagegen nahmen die Lageremissionen von Mist um 70 % ab. Die bis Emissionsstufe Lager erhöhten Emissionen bewirkten eine Reduktion des TAN Flusses, welcher in die Ausbringung gelangte. Dies führte in Kombination mit dem zunehmenden Einsatz von emissionsmindernden Ausbringungsverfahren (2007: Verteilung von 12 % der Güllemenge mittels Schleppschauch) zu einer Abnahme der EF beim Ausbringen von Gülle trotz höherem Gülleanfall pro Milchkuh im Vergleich zu 1990. Die Reduktion des EF bei der Ausbringung von Mist ist hauptsächlich mit der Abnahme der Mistproduktion zu erklären. Die Änderungen der EF der verschiedenen Emissionsstufen kompensieren sich teilweise gegenseitig, so sich dass der EF total zwischen 1990 und 2007 nur wenig veränderte (Zunahme um 9 %).

Tabelle 22: Mittlere Emissionsfaktoren (EF) der Stufen Weide, Stall/Laufhof, Lager (Gülle, Mist), Ausbringung (Gülle, Mist) und das Total der Jahre 1990, 1995, 2002 und 2007 gemäss Hochrechnung für Milchkühe. Angaben in kg NH<sub>3</sub>-N pro Jahr und pro Milchkuh

	EF Weide	EF Stall/Laufhof	EF Lager Gülle	EF Lager Mist	EF Ausbringung Gülle	EF Ausbringung Mist	EF total
1990	0.4	4.0	2.1	4.4	18.5	4.3	33.7
1995	0.5	4.9	2.7	3.8	18.8	4.1	34.7
2002	0.9	7.5	4.4	2.4	16.6	2.6	34.4
2007	1.0	9.4	4.3	1.7	17.6	2.7	36.6

### 6.4.3 Übrige Rinderkategorien

Die EF der übrigen Rinderkategorien verliefen ähnlich wie diejenigen der Milchkühe. Sie wurden durch die gleichen Parameter beeinflusst. Als Beispiel sind in Tabelle 23 die EF der Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig aufgeführt. Der EF Weide nahm weniger stark zu im Vergleich zu den Milchkühen, da schon in den 1990er Jahren der grösste Teil der Tiere geweidet wurde und Ganztagesweide vorherrschte. Da die Aufzuchtrinder zunehmend in Laufställen gehalten wurden und bis 2007 praktisch sämtliche Tiere Zutritt zu einem Laufhof hatten, nahm der EF von Stall/Laufhof wie bei den Milchkühen zu, wenn auch in etwas geringerem Ausmass. Das Verhältnis der EF Lager und Ausbringung von Gülle und Mist war bei den Aufzuchtrindern im Jahr 2007 wesentlich enger im Vergleich zu den Milchkühen, da Stallsysteme mit Produktion von Gülle und Mist beim Jungvieh weiter verbreitet waren (Anteil Stallsysteme mit Produktion von Gülle und Mist oder ausschliesslich Mist bei Aufzuchtrindern 1 bis 2-jährig 2007: 80 %). Gleich wie bei den Milchkühen bewirkten die bis Emissionsstufe Lager erhöhten Emissionen eine Reduktion des TAN Flusses, welcher in die Ausbringung gelangte. Dies führte in Kombination mit der zunehmenden Umsetzung von Massnahmen zur Reduktion der Emissionen beim Ausbringen (Schleppschlauch, Einarbeitung von Mist) zu einer Abnahme der EF Ausbringung. Der EF total nahm damit von 1990 bis 2007 leicht ab.

Tabelle 23: Mittlere Emissionsfaktoren (EF) der Stufen Weide, Stall/Laufhof, Lager (Gülle, Mist), Ausbringung (Gülle, Mist) und das Total der Jahre 1990, 1995, 2002 und 2007 gemäss Hochrechnung für Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig. Angaben in kg NH<sub>3</sub>-N pro Jahr und pro Aufzuchtrind

	EF Weide	EF Stall/Laufhof	EF Lager Gülle	EF Lager Mist	EF Ausbringung Gülle	EF Ausbringung Mist	EF total
1990	0.5	1.8	0.6	1.8	5.5	1.8	12.0
1995	0.5	2.1	0.8	1.6	5.4	1.8	12.2
2002	0.8	3.0	0.9	1.2	3.9	1.4	11.1
2007	0.8	3.6	1.1	0.9	3.9	1.4	11.8

### 6.4.4 Mastschweine

Zwischen 1990 und 2007 nahm der Anteil von Labelställen mit Mehrflächenbuchten und Auslauf stark zu (1990: 0 %; 2007: 63 %). Theoretisch würde dies wegen der doppelt so hohen Emissionsrate der Labelställe gegenüber konventionellen Ställen zu einer Erhöhung der Stallemissionen pro Tierplatz um ca. 60 % führen. Dass die effektive Erhöhung trotzdem nur 12 % betrug (Tabelle 24), ist darauf zurück zu führen, dass die N-Ausscheidung aufgrund des züchterischen Fortschritts und der Reduktion der Rohproteingehaltes in den Rationen (von 184 g/kg im Jahr 1990 auf 160 g/kg im Jahr 2007) um 31 % abnahmen (vgl. Kap. 2.2.4.1). Die Weidehaltung hat in der Schweinproduktion keine grosse Bedeutung. Die EF waren in allen Stichjahren 0 bzw. 0.02 (Werte in Tabelle 24 nicht aufgeführt).

Die Zunahme des Lagervolumens infolge der Neuerstellung von Güllelagern in den 1990er Jahren bewirkte eine Zunahme des EF Lager zwischen 1990 und 2002 (vgl. Kap. 6.4.2). Der starke Rückgang des EF Lager Gülle zwischen 2002 und 2007 dürfte teilweise auf Unterschiede in der Verteilung der Güllelager von Betrieben mit Mastschweinen in den Stichproben 2002 und 2007 zurückzuführen sein. Das Verhältnis von Volumen und Tiefe veränderte sich zwischen den beiden Jahren, was zu einer um ca. 15 % grösseren emittierenden Oberfläche pro Mastschwein führte. Weiter kann eine unterschiedliche Rückverteilung der Lageremissionen auf die Tierkategorien von Betrieben, welche Rinder- und Schweinegülle im gleichen Behälter lagern, eine Rolle spielen. Die vorhandene Differenz kann damit aber nicht genügend erklärt werden. Auswertungen nach Lagervolumen und Baujahr der Lagerbehälter gemäss Umfrage 2007 (Ergebnisse

nicht dargestellt) zeigten, dass das Lagervolumen insgesamt und das Lagervolumen von Gülle ohne Abdeckung für Betriebe mit Mastschweinen zwischen 1990 und 2000 um rund 30 bis 50 % zugenommen haben. Nach 2000 war eine weitere leichte Vergrösserung des Lagervolumens zu beobachten. Dies und die abnehmende Tierzahl zwischen 1990 und 2007 würden darauf hinweisen, dass die Lageremission pro Tier im Jahr 2007 deutlich höher liegen müsste im Vergleich zu den 1990er Jahren.

Die gegenüber 1990 geringere N-Ausscheidung der Mastschweine und der höhere EF bei Stall/Laufhof im Jahr 2007 führte zu einem niedrigeren TAN Fluss aus dem Lager und damit zu verminderten Emissionen bei der Ausbringung. Eine zusätzliche Verminderung des EF Ausbringung ist auf Massnahmen wie vermehrter Einsatz von Schleppschauchverteilern oder vermehrte Applikation von Gülle am Abend zurückzuführen. Die Kombination dieser Faktoren hatte eine Abnahme des totalen EF von 15 % im Vergleich zu 1990 zur Folge.

Tabelle 24: Mittlere Emissionsfaktoren (EF) Stall/Laufhof, Lager (Gülle, Mist), Ausbringung (Gülle, Mist) und das Total der Jahre 1990, 1995, 2002 und 2007 gemäss Hochrechnung für Mastschweine. Angaben in kg NH<sub>3</sub>-N pro Jahr und pro Mastschwein

	EF Stall/Laufhof	EF Lager Gülle	EF Lager Mist	EF Ausbringung Gülle	EF Ausbringung Mist	EF total
1990	2.9	0.5	0.0	3.1	0.0	6.5
1995	3.0	0.6	0.0	2.9	0.0	6.5
2002	3.5	0.9	0.0	1.7	0.0	6.1
2007	3.2	0.5	0.0	1.7	0.0	5.5

#### 6.4.5 Übrige Tierkategorien

Bei den Legehennen nahm der EF total von 1990 bis 2007 von 0.29 kg NH<sub>3</sub>-N auf 0.25 kg NH<sub>3</sub>-N ab, obwohl N-Ausscheidung im Jahr 2007 um 0.09 kg bzw. 13 % höher lag im Vergleich zu 1990, was zu einer Erhöhung des N-Flusses im System führte. Die Abnahme ist mit der Entwicklung der Produktionstechnik zu erklären: Ersatz von Kotgruben und Bodenhaltung durch Kotbandsysteme sowie von Tränkebecken durch Nippeltränken, Erhöhung der Entmistungsintervalle, Zunahme der Einarbeitung von Mist nach dem Ausbringen. Die Einführung der Weide, welche bei den Legehennen Emissionen von 0.02 kg NH<sub>3</sub>-N verursachten, ist von untergeordneter Bedeutung. Bei den Mastpoulets nahm der EF total von 1990 bis 2007 von 0.13 kg NH<sub>3</sub>-N auf 0.12 kg NH<sub>3</sub>-N ab. Allerdings wurden die Tiere sowohl 1990 als auch 2007 ausschliesslich in Bodenhaltungssystemen gehalten. Eine Reduktion der Stallemissionen pro Tier von 5 % ist auf den weitgehenden Ersatz von Tränkebecken durch Nippeltränken zurückzuführen. Dies kompensierte die Auswirkungen bezüglich Emissionen der höheren N-Ausscheidung im Jahr 2007. Die Weideemissionen fallen bei den Mastpoulets wie bei den Legehennen kaum ins Gewicht.

Bei den Pferden und übrigen Equiden sowie bei den Kleinwiederkäuern nahmen die EF um 2 bis 27 % ab. Die entscheidenden Grössen waren hier die EF von Weide und Stall/Laufhof. Allerdings sind bei diesen Tierkategorien die Unsicherheiten vor allem für die Jahre 1990 und 1995 grösser, da kaum Grundlagen zur Festlegung von Annahmen verfügbar waren.

**6.5 Emissionsfaktoren des Kantons Luzern und der Region Zentral Schweiz**

Tierkategorie	Höhen- stufe	Kt LU	Zent CH	Emissionsfaktor (kg NH <sub>3</sub> -N pro Tier)		Differenz EF Kanton Luzern - EF Zentral Schweiz [(EF Kanton LU - EF Zentral CH) / EF Zentral CH] in %				
				Kanton Luzern	Zentral Schweiz	Stall/ Laufhof	Weide	Lager	Ausbringung	Total
		n*	n*							
Milchkühe	1	211	423	35.1	34.8	-6%	-3%	2%	5%	<b>1%</b>
	2	149	300	35.4	36.0	2%	-7%	-4%	-3%	<b>-2%</b>
	3	53	164	39.1	39.1	-7%	-23%	-5%	4%	<b>0%</b>
	1-3	413	887	35.4	36.3	0%	-4%	1%	-5%	<b>-2%</b>
Mutterkühe	1	37	85	23.4	23.9	-19%	-6%	0%	13%	<b>-2%</b>
	2	35	68	26.4	26.3	-8%	-31%	-22%	27%	<b>0%</b>
	3	19	29	32.1	26.8	102%	-43%	-22%	-14%	<b>20%</b>
	1-3	91	182	27.0	25.4	12%	-26%	-16%	12%	<b>6%</b>
Aufzuchtrinder unter 1-jährig	1	367	827	8.3	8.4	-4%	-13%	2%	1%	<b>-1%</b>
	2	152	351	8.5	8.3	7%	-14%	10%	-4%	<b>2%</b>
	3	134	289	8.8	9.4	13%	13%	0%	-15%	<b>-5%</b>
	1-3	57	173	8.4	8.7	5%	-7%	7%	-12%	<b>-3%</b>
Aufzuchtrinder 1- bis 2-jährig	1	343	813	11.2	11.1	14%	1%	-15%	-4%	<b>1%</b>
	2	139	289	12.4	11.4	23%	-6%	21%	-12%	<b>9%</b>
	3	120	231	12.9	13.4	26%	4%	-3%	-15%	<b>-3%</b>
	1-3	51	146	12.0	11.8	22%	1%	3%	-16%	<b>1%</b>
Aufzuchtrinder über 2-jährig	1	310	666	15.7	16.5	-10%	12%	-7%	-1%	<b>-5%</b>
	2	37	85	16.6	15.3	3%	-29%	-11%	29%	<b>9%</b>
	3	35	68	17.1	19.2	9%	2%	-22%	-17%	<b>-11%</b>
	1-3	19	29	16.5	16.9	0%	-10%	-12%	0%	<b>-3%</b>
Mastkälber	1	91	215	5.2	5.1	-6%	-100%	1%	11%	<b>2%</b>
	2	71	130	5.2	5.1	1%	-100%	-27%	8%	<b>0%</b>
	3	25	55	5.8	5.8	5%	-70%	-14%	4%	<b>0%</b>
	1-3	187	400	5.2	5.2	3%	-86%	-26%	14%	<b>0%</b>
Mutterkuhkäl- ber	1	37	85	9.8	10.0	-23%	-12%	9%	18%	<b>-2%</b>
	2	35	68	11.2	11.2	-12%	-32%	-19%	28%	<b>-1%</b>
	3	19	29	13.5	11.5	88%	-41%	-20%	-12%	<b>18%</b>
	1-3	91	182	11.3	10.8	4%	-27%	-11%	16%	<b>5%</b>
Masttiere Rindviehmast	1	64	134	12.5	12.9	-8%	18%	-5%	0%	<b>-3%</b>
	2	25	57	12.7	11.7	13%	-71%	24%	-3%	<b>8%</b>
	3	8	48	15.0	14.6	46%	-97%	14%	-23%	<b>3%</b>
	1-3	91	239	12.6	13.2	-16%	-33%	3%	0%	<b>-5%</b>

Tierkategorie	Höhen- stufe	Kt LU	Zent CH	Emissionsfaktor (kg NH <sub>3</sub> -N pro Tier)		Differenz EF Kanton Luzern - EF Zentral Schweiz [(EF Kanton LU - EF Zentral CH) / EF Zentral CH] in %				
				Kanton Luzern	Zentral Schweiz	Stall/ Laufhof	Weide	Lager	Ausbringung	<b>Total</b>
Säugende Sauen	1	98	125	17.9	17.7	-5%	-100%	13%	6%	<b>1%</b>
	2	47	58	17.5	17.3	1%	-100%	57%	-14%	<b>1%</b>
	3	17	17	21.2	19.0	34%	-	32%	-14%	<b>12%</b>
	1-3	162	200	18.1	17.6	-1%	-100%	26%	-2%	<b>3%</b>
Galtsauen	1	95	132	10.3	9.9	1%	-100%	65%	-5%	<b>4%</b>
	2	55	67	9.6	9.1	-3%	-100%	113%	9%	<b>5%</b>
	3	18	18	10.2	10.7	-14%	-100%	106%	-12%	<b>-5%</b>
	1-3	168	217	10.2	9.7	-1%	-100%	80%	0%	<b>5%</b>
Ferkel abge- setzt bis 25 kg	1	104	139	1.78	1.69	4%	-100%	11%	5%	<b>5%</b>
	2	52	61	1.76	1.72	6%	-100%	23%	-10%	<b>2%</b>
	3	17	18	2.17	1.98	26%	-100%	29%	-16%	<b>10%</b>
	1-3	173	218	1.81	1.71	7%	-100%	17%	-1%	<b>6%</b>
Eber	1	80	109	9.0	8.8	-3%	-100%	57%	-5%	<b>1%</b>
	2	40	47	8.7	8.5	6%	-100%	25%	-10%	<b>2%</b>
	3	13	15	10.1	9.1	12%	-100%	20%	13%	<b>11%</b>
	1-3	133	171	9.1	8.7	2%	-100%	48%	-2%	<b>4%</b>
Mastschweine	1	163	247	5.7	5.4	6%	-100%	24%	3%	<b>7%</b>
	2	92	141	5.8	5.3	15%	-100%	11%	-5%	<b>10%</b>
	3	34	34	5.6	5.9	-27%	-	-20%	28%	<b>-6%</b>
	1-3	289	422	5.7	5.4	6%	-100%	24%	4%	<b>7%</b>
Legehennen	1	84	219	0.226	0.238	-15%	6%	6%	-9%	<b>-5%</b>
	2	56	127	0.229	0.255	-44%	42%	51%	-7%	<b>-10%</b>
	3	24	57	0.373	0.304	56%	0%	-41%	-35%	<b>22%</b>
	1-3	164	403	0.227	0.247	-27%	14%	19%	-15%	<b>-8%</b>
Junghennen	1	5	12	0.130	0.104	67%	-100%	-39%	-18%	<b>25%</b>
	2	3	11	0.155	0.107	98%	951%	-55%	-50%	<b>45%</b>
	3	0	1	-	0.114	-	-	-	-	<b>-</b>
	1-3	8	24	0.130	0.106	67%	-100%	-42%	-11%	<b>23%</b>
Mastpoulets	1	5	21	0.126	0.114	7%	5%	-3%	24%	<b>11%</b>
	2	8	15	0.117	0.120	-1%	70%	-10%	-4%	<b>-2%</b>
	3	0	1	-	0.127	-	-	-	-	<b>-</b>
	1-3	13	37	0.121	0.116	2%	40%	-8%	9%	<b>4%</b>
Mastruten	1	0	2	-	0.466	-	-	-	-	<b>-</b>
	2	1	1	0.420	0.520	-1%	12%	-2%	-41%	<b>-19%</b>
	3	0	0	-	0.483	-	-	-	-	<b>-</b>
	1-3	1	3	0.420	0.477	0%	11%	-2%	-29%	<b>-12%</b>
Anderes Ge- flügel	1	5	8	0.165	0.165	0%	1%	8%	-19%	<b>0%</b>
	2	4	13	0.152	0.147	0%	4%	6%	22%	<b>3%</b>
	3	3	10	0.176	0.153	-1%	4%	47%	19%	<b>15%</b>
	1-3	12	31	0.163	0.157	0%	3%	16%	-5%	<b>4%</b>

Tierkategorie	Höhen- stufe	Kt LU	Zent CH	Emissionsfaktor (kg NH <sub>3</sub> -N pro Tier)		Differenz EF Kanton Luzern - EF Zentral Schweiz [(EF Kanton LU - EF Zentral CH) / EF Zentral] CH in %				
				Kanton Luzern	Zentral Schweiz	Stall/ Laufhof	Weide	Lager	Ausbringung	<b>Total</b>
Pferde über 3- jährig	1	43	113	9.8	10.3	20%	-33%	-47%	-44%	<b>-5%</b>
	2	34	77	10.8	10.2	1%	-11%	22%	8%	<b>6%</b>
	3	13	33	12.0	10.1	-9%	-86%	69%	71%	<b>19%</b>
	1-3	90	223	10.6	10.2	7%	-45%	4%	12%	<b>5%</b>
Pferde unter 3- jährig	1	8	27	8.6	10.1	-2%	-6%	-39%	-34%	<b>-15%</b>
	2	7	12	9.0	6.5	108%	-74%	8%	26%	<b>38%</b>
	3	9	14	9.9	7.7	36%	-63%	40%	47%	<b>29%</b>
	1-3	24	53	9.4	8.3	25%	-54%	0%	22%	<b>12%</b>
Ponies, Klein- pferde, Esel, Maultie- re/Maulesel jeden Alters	1	14	56	3.9	3.6	8%	-2%	17%	8%	<b>9%</b>
	2	13	35	3.5	3.7	-18%	6%	29%	18%	<b>-5%</b>
	3	4	15	4.5	3.7	-10%	-100%	94%	93%	<b>23%</b>
	1-3	31	106	4.2	3.6	-10%	-60%	83%	102%	<b>17%</b>
Schafe.	1	34	68	3.8	2.8	20%	-63%	62%	83%	<b>38%</b>
	2	30	70	1.6	2.5	-24%	50%	-74%	-72%	<b>-36%</b>
	3	20	34	2.8	3.1	-21%	53%	-9%	-7%	<b>-9%</b>
	1-3	84	172	2.6	2.7	-10%	26%	-13%	-5%	<b>-7%</b>
Milchschafe	1	2	2	4.7	5.2	0%	-100%	-19%	-17%	<b>-10%</b>
	2	1	0	3.1	5.0	13%	-40%	-73%	-79%	<b>-38%</b>
	3	2	3	4.5	3.9	12%	-17%	12%	37%	<b>15%</b>
	1-3	5	5	4.3	4.9	-9%	56%	-25%	-14%	<b>-12%</b>
Ziegen	1	11	34	3.6	3.4	11%	-57%	16%	6%	<b>7%</b>
	2	15	31	4.3	3.3	8%	-51%	44%	72%	<b>29%</b>
	3	13	37	4.4	4.0	2%	-24%	16%	17%	<b>10%</b>
	1-3	39	102	4.3	3.7	6%	-49%	26%	38%	<b>18%</b>

\* Anzahl Betriebe

**6.6 Nicht-landwirtschaftliche Ammoniakemissionen der Schweiz im Jahr 2007**

NFR Code <sup>10</sup>	Prozess	Emissionen 2007	
		in Tonnen NH <sub>3</sub>	in Tonnen N
	<b>Industrie/Gewerbe</b>		
1 A 1 a i	Elektrizitätserzeugung	4.33	
1 A 1 a ii	Kehrichtverbrennungsanlagen	22.89	
1 A 1 b	Raffinerien	0.03	
1 A 2 a	Industrielle Produktion, Feuerungen	112.57	
1 A 2 a	Gewerbe, Landwirtschaft, Dienstleistungen	46.55	
1 A 4 c	Forstwirtschaft Offroad	0.24	
1 A 4 c	Landwirtschaft Offroad	3.27	
1 A 5 b	Baustellen	3.06	
1 A 5 b	Gartenbau, professionell	0.17	
1 A 5 b	Industrie Offroad	1.07	
1 B 2 b ii	Gasverteilung Kompressorstationen	0.49	
2 A 1	Zement-Produktion, Rohmaterial	80.77	
2 B 1	Ammoniak-Produktion	6.31	
2 B 2	Salpetersäure-Produktion	0.11	
2 B 5	Ammoniumnitrat-Produktion	0.80	
2 C 5	Verzinkereien	7.92	
2 D 2	Zucker-Produktion	120.17	
2 F 1	Kühlanlagen	2.40	
2 G	Sprengen und Schiessen	0.44	
3 D	Glaswolle-Imprägnierung	55.01	
3 D	Steinwolle-Imprägnierung	41.42	
6 D	Kompostierung Industrie	80.50	
6 D	Vergärung, Gärresten	5.96	
	<b>Total</b>	<b>596.48</b>	<b>491.22</b>
	<b>Verkehr</b>		
1 A 3 b i	Personenwagen Benzin	1172.61	
1 A 3 b i	Personenwagen Diesel	11.47	
1 A 3 b ii	Lieferwagen Benzin	40.39	
1 A 3 b ii	Lieferwagen Diesel	2.97	
1 A 3 b iii	Linienbusse	1.05	
1 A 3 b iii	Reisebusse	0.47	
1 A 3 b iii	Schwere Nutzfahrzeuge	10.98	
1 A 3 b iv	Zweiräder	4.72	
1 A 3 c	Schienenverkehr	0.31	
1 A 3 d	Schiffe	0.99	
1 A 5 b	Militär	0.02	

<sup>10</sup> NFR Nomenclature For Reporting gemäss EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook

	Total	1245.96	1026.08
	<b>Haushalte</b>		
1 A 4 b	Gasturbinen Haushalte	153.51	
1 A 5 b	Gartenbau, hobby	0.11	
3 D	Tabakwaren Konsum	32.96	
6 D	Kompostierung Haushalt	24.11	
7 A 1	Mensch, Atem	22.85	
7 A 2	Mensch, Schweiss	106.64	
7 A 3	Mensch, Windeln Kinder <1 Jahre alt	0.89	
7 A 4	Mensch, Windeln Kinder 1- 3 Jahre alt	3.35	
7 A 5	Mensch, Windeln Alters-Pflegeheimen	0.48	
7 B 1	Pferde	199.13	
7 B 2	Esel und Maultiere	60.24	
7 B 3	Schafe, Haushalt	71.60	
7 B 4	Ziegen, Haushalt	71.60	
7 B 5	Katzen, Haushalt	122.85	
7 B 6	Hunde, Haushalt	227.18	
7 B 7	Zoo- und Zirkustiere	5.74	
7 C 1	Dünger	0.10	
	Total	1103.34	908.63
	<b>Abfallbewirtschaftung</b>		
6 A 1	Kehrichtdeponien	266.00	
6 B 2	Kläranlagen kommunal	110.48	
6 C	Klärschlammverbrennung	10.68	
4 F	Abfallverbrennung Forstwirtschaft	56.00	
	Total	443.16	364.96
	Gesamttotal über alle Quellenkategorien	3388.94	2790.89

## 6.7 Abkürzungen

ART	Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFS	Bundesamt für Statistik
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
BTS	Besonders tierfreundliche Stallhaltungssysteme (BTS-Programm)
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
CORINAIR	CORe Inventory of AIR emissions
DeNOx-System	Entstickungssystem
EF	Emissionsfaktor
ER	Emissionsrate
EMIS	Schweizerische Luftschadstoff- und Klimagas-Emissionsinventar
EMEP	European Monitoring and Evaluation Program
EEA	European Environment Agency
EMPA	Eidgenössische Materialprüfanstalt
GVE	Grossvieheinheit
ha	Hektare (100m x100m)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kt	Kilo Tonne
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
LRV	Luftreinhalte-Verordnung
N	Stickstoff
N <sub>2</sub>	Luftstickstoff, molekularer Stickstoff
NABEL	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe
NFR	Nomenclature For Reporting
NH <sub>3</sub> -N	Ammoniak-Stickstoff
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
N <sub>tot</sub>	Gesamtstickstoff
OA	Offene Ackerfläche
RAUS	Regelmässiger Auslauf im Freien (RAUS-Programm)
RP	Rohprotein
SAEFL	Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape
SHL	Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft, Zollikofen

TAN	Englisch: Total Ammoniacal Nitrogen (NH <sub>3</sub> -N + NH <sub>4</sub> -N). Der TAN ist dem löslichen Stickstoff gleichzusetzen, da der Gehalt an Nitrat in den Hofdüngern sehr niedrig ist.
ü. M.	über Meer
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
USG	Umweltschutzgesetz
VIKA-Klassen	Viehwirtschaftskataster-Klassen nach BLW

## 6.8 Glossar

Eingabeparameter	Parameter, die vom Benutzer ins Modell eingegeben werden: die Anzahl der Tiere, Angaben zur Fütterung, zu Weide, Aufstallung, Laufhof, zu den Hofdüngerlagern und zur Hofdüngerausbringung, sowie die Angaben zum Pflanzenbau.
Emissionsfaktor	Stickstoffmenge in kg, die innerhalb einer Emissionsstufe pro Nutztier oder als Total des Betriebs in Form von Ammoniak emittiert wird. Die Emissionsfaktoren dienen der Hochrechnung. Sie werden mittels Modellrechnung ermittelt.
Emissionsrate	Anteil des Stickstoffflusses in Prozent (für Güllelager in g/m <sup>2</sup> Lageroberfläche), der innerhalb einer Emissionsstufe als Ammoniak emittiert wird. Die Emissionsraten basieren auf Daten aus der wissenschaftlichen Literatur und sind Teil der technischen Parameter des Modells.
Emissionsstufen	Stufen innerhalb des Betriebs, welche Ammoniakemissionen verursachen: Tierhaltung (Weide, Stall/Laufhof), Hofdüngerlager (flüssig und fest), Hofdüngerausbringung (flüssig und fest) und Pflanzenbau (mineralische N-Dünger, Recyclingdünger, landwirtschaftliche Nutzfläche).
Modellparameter	Eingabeparameter und technische Parameter
Technische Parameter	Die dem Modell zugrunde liegenden vorgegebenen Parameter (Tierkategorien, Stickstoffausscheidungen der Tiere, Emissionsraten, Korrekturfaktoren).
UNECE	Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa