



# **Ammoniakemissionen der schweizerischen Landwirtschaft 1990-2015**

**Emissions d'ammoniac agricoles en  
Suisse de 1990 à 2015**

**Ammonia emissions from agriculture  
in Switzerland for 1990 to 2015**

Zusammenfassung auf Deutsch

Résumé en français

Summary in English

**Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften  
Bonjour Engineering GmbH  
Oetiker+Partner AG**

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

10.10.2018

**Beauftragte:** **Berner Fachhochschule**  
**Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften**  
**Bonjour Engineering GmbH**  
**Oetiker+Partner AG**

**Finanzierung:** **Bundesamt für Umwelt (BAFU),**  
**Abt. Luftreinhaltung und Chemikalien**

**Autoren/-innen:** **Thomas Kupper**  
Berner Fachhochschule  
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, HAFL,  
3052 Zollikofen

**Cyrill Bonjour**  
Bonjour Engineering GmbH, 4654 Lostorf

**Harald Menzi**  
Bundesamt für Umwelt, Abt. Luftreinhaltung und Chemikalien, Sektion  
Luftqualität, 3003 Bern

**Daniel Bretscher**  
Agroscope, 8046 Zürich

**Fritz Zaucker**  
Oetiker+Partner AG, 4600 Olten

**Beiträge von:** **Stéphane Burgos**  
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, HAFL  
Kap. 2.2.5.1 (pH-Wert)

**Alexander Burren, Christine Flury**  
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, HAFL  
Kap. 2.1.5.3, Anhang 7.2.3.2

**Mamoun Bencheikh, Andrea Grossi, Arthur Zesiger**  
Bundesamt für Statistik, BFS  
Kap. 3.5, Anhang 7.22.5

**Beat Rihm**  
Meteotest, 3012 Bern  
Kap. 3.2.4

**Begleitung durch** **Gaston Theis**  
**Auftraggeber:** Bundesamt für Umwelt, Abt. Luftreinhaltung und Chemikalien, Sektion  
Luftqualität, 3003 Bern

# 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 naturnahe Ökosysteme sowie die Bildung von sekundären Luftschaadstoffen zu vermindern.

Die Berechnung der gesamtschweizerischen landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen erfolgte für die Jahre 1990, 1995, 2002, 2007, 2010 und 2015. Für die Rechnungen 2002, 2007, 2010 und 2015 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 1950 (2002), 3133 (2007), 2957 (2010) und 2688 Betrieben (2015) ausgewertet. Für jeden Betrieb der Stichprobe erfolgte eine Berechnung der Ammoniakemissionen mit dem Modell Agrammon. Die resultierenden mittleren Emissionsfaktoren (d.h. Stickstoffmenge pro Nutztier, die in Form von Ammoniak, NH<sub>3</sub>, emittiert wird) für 24 Nutztierkategorien jeder Betriebsklasse wurden mit den Gesamtzahlzahlen der Schweiz hochgerechnet. Zusätzlich erfolgte die Berechnung der Emissionen aus dem Pflanzenbau. Die produktionstechnischen Parameter der Emissionsrechnungen für 1990 und 1995 basieren auf Angaben aus der Literatur und Expertennahmen.

Im Jahr 2015 wurden aus der Landwirtschaft 42.5 kt Stickstoff (N) als Ammoniak (NH<sub>3</sub>) emittiert. Mit einem Anteil von 93% war sie Hauptverursacherin der gesamten Ammoniakemissionen (45.7 kt NH<sub>3</sub>-N). Rund 3.2 kt NH<sub>3</sub>-N bzw. 7% der Gesamtemissionen stammten aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen (Industrie/Gewerbe, Verkehr, Haushalte, Abfallbewirtschaftung). Innerhalb der Landwirtschaft trug die Tierproduktion mit einem Anteil von 93% (39.6 kt NH<sub>3</sub>-N) am stärksten zu den Emissionen bei. Die Verluste aus dem Pflanzenbau lagen bei 2.9 kt NH<sub>3</sub>-N. Die Kategorien Rindvieh und Schweine trugen mit 30.8 kt NH<sub>3</sub>-N und 5.9 kt NH<sub>3</sub>-N am stärksten zu den Emissionen aus der Tierproduktion bei (78% bzw. 15% des Totals der Tierproduktion; Abb. Z-1a). Die Anteile von Geflügel (1.6 kt NH<sub>3</sub>-N, 4.0%), der Pferde und anderen Equiden (0.6 kt NH<sub>3</sub>-N, 1.4%) und der Kleinwiederkäuer (0.8 kt NH<sub>3</sub>-N, 1.9%) waren relativ niedrig. Die Hofdüngerausbringung sowie Stall/Laufhof (43% bzw. 37% der Emissionen der Tierproduktion) waren die wichtigsten Emissionsstufen (Abb. Z-1b).

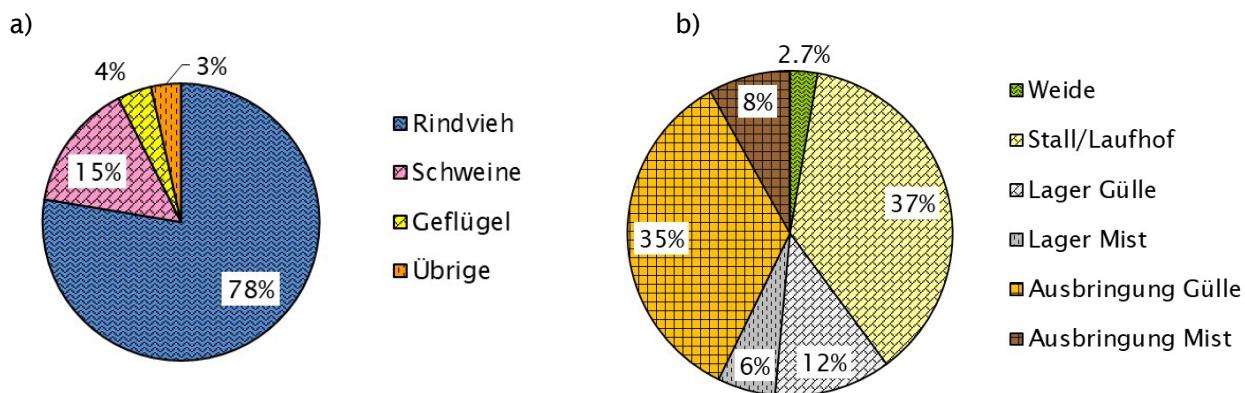


Abb. Z-1: Anteile der Haupttierkategorien an den Emissionen aus der Tierproduktion in Prozent (a), Anteile der Emissionsstufen an den Emissionen aus der Tierproduktion in Prozent (b) für 2015

Die totalen Emissionen nahmen zwischen 1990 und 2015 um 17% und die landwirtschaftlichen Emissionen um 18% ab. Die NH<sub>3</sub>-Verluste aus der Tierproduktion und dem Pflanzenbau gingen um 16% und 35% zurück. Die Abnahme der Emissionen des Rindviehs und der Schweine betrug 14% bzw. 35%. Die Emissionen von Geflügel lagen 2015 um 15%, diejenigen der übrigen Nutztiere um 37% über dem Stand von 1990 (Tab. Z-1).

Tab. Z-1: Entwicklung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen von Tierproduktion und Pflanzenbau zwischen 1990 und 2015 in kt NH<sub>3</sub>-N pro Jahr. Die fünf 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	2010	2015	1995	2002	2007	2010	2015
	kt NH <sub>3</sub> -N /a						%				
Rindvieh	35.9	34.7	29.9	31.9	31.3	30.8	-4%	-17%	-11%	-13%	-14%
Schweine	9.1	7.1	6.9	6.5	6.5	5.9	-22%	-25%	-29%	-29%	-35%
Geflügel	1.4	1.3	1.2	1.3	1.5	1.6	-7%	-14%	-3%	6%	15%
Übrige Nutztiere*	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.4	10%	26%	39%	48%	37%
Emissionen Tierproduktion	47.4	44.2	39.2	41.1	40.8	39.6	-7%	-17%	-13%	-14%	-16%
Emissionen Pflanzenbau	4.5	3.9	2.9	2.7	2.7	2.9	-12%	-36%	-41%	-41%	-35%
Total landwirtschaftliche Emissionen	51.9	48.1	42.1	43.8	43.4	42.5	-7%	-19%	-16%	-16%	-18%
Total nicht-landwirtschaftl. Emissionen	3.1	4.0	5.5	4.3	3.8	3.2	29%	79%	40%	23%	2%
Total Emissionen	55.0	52.1	47.6	48.1	47.2	45.7	-5%	-14%	-13%	-14%	-17%

\*Pferde und übrige Equiden, Kleinwiederkäuer, andere anderen Raufutter verzehrende Nutztiere (Bisons, Dam- und Rotfirsche Lamas, Alpakas), Kaninchen

Die Weideemissionen nahmen zwischen 1990 und 2015 um 74% und die Emissionen aus Stall/Laufhof um 34% zu. Die Anteile der NH<sub>3</sub>-Verluste von Hofdüngerlager und -ausbringung gingen um 21% bzw. 38% zurück (Abb. Z-2). Die Emissionen von Punktquellen (Stall/Laufhof und Lager) betrugen im Jahr 1990 41% und im Jahr 2015 54% der Emissionen aus der Tierproduktion.

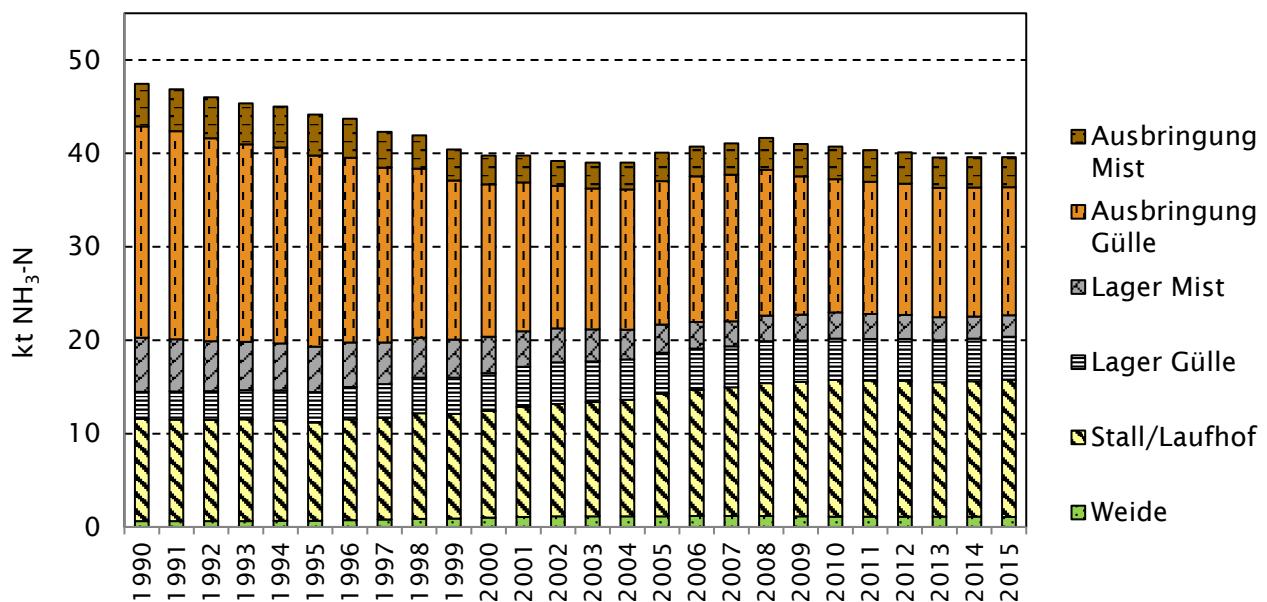


Abb. Z-2: Entwicklung der Ammoniakemissionen der Tierproduktion von 1990 bis 2015 nach Emissionsstufe Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlager und Hofdüngerausbringung in kt NH<sub>3</sub>-N.

Die zeitliche Entwicklung der Emissionen aus der Tierproduktion, welche eine Abnahme bis 2003 und anschliessend einen ungefähr konstanten Verlauf zeigten, lässt sich weitgehend mit der Veränderung von Tierbeständen und Produktionstechnik erklären. Die Zunahme von Laufställen bei Rindvieh und Labelställen mit Mehrflächenbucht und Auslauf bei Schweinen, welche grössere emittierende Flächen aufweisen als die früher üblichen Systeme, führten zu einem Anstieg der Emissionen. Die Abnahme der Anzahl von Rindvieh und Schweinen um 16% bzw. 18%, die hauptsächlich zwischen 1990 und 2000 stattfand, bewirkte eine Verminderung

der NH<sub>3</sub>-Verluste, ebenso wie die Zunahme von Weide und emissionsmindernde Ausbringtechniken für Gülle. Faktoren, die zu einer Emissionszunahme bzw. -abnahme führen, hoben sich im untersuchten Zeitraum weitgehend gegenseitig auf. Dies ist insbesondere ab ca. 2000 der Fall. Ohne Umsetzung von emissionsmindernden Massnahmen hätten die NH<sub>3</sub>-Verluste aus der Landwirtschaft in den letzten Jahren wieder zugenommen.

Die Emissionsrechnung erfolgte mit einer neuen Modellversion von Agrammon. Diese berücksichtigt die aktuellen nationalen und internationalen methodischen Grundlagen und weist folgende wesentlichen Änderungen auf:

- N-Ausscheidung einzelner Nutztierkategorien sowie Anteil von TAN in den Ausscheidungen von Rindvieh (Milchkühe und übriges Rindvieh),
- Verluste von N durch Lachgas (N<sub>2</sub>O), Stickstoffmonoxid (NO) und elementaren Stickstoff (N<sub>2</sub>) werden neu zur Korrektur des N-Flusses verwendet,
- Emissionsraten mineralische N-Dünger: Anwendung differenzierter Emissionsraten nach Düngertyp,
- Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und Pflanzenbeständen werden neu nicht mehr berücksichtigt.

Aufgrund dieser Änderungen liegen die Emissionen über die ganze Zeitreihe tiefer im Vergleich zu früheren Berechnungen. Für 2015 besteht eine Differenz von minus 5.1 kt NH<sub>3</sub>-N bzw. 12% im Vergleich zur Berechnung mit der früheren Version.

Der zeitliche Verlauf der seit dem Jahr 2000 durchgeführten Immissionsmessungen stimmt gut mit der Entwicklung der modellierten Emissionen zwischen 2002 und 2015 überein. Daraus lässt sich schliessen, dass der Verlauf der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen mit dem Modell Agrammon adäquat berechnet wird.

## Résumé

En accord avec ses engagements internationaux (CEE-ONU), la Suisse est tenue de calculer périodiquement ses émissions d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et d'en rapporter les résultats. Ces accords visent à diminuer les apports en composés azotés dans les écosystèmes naturels ainsi que la formation de polluants gazeux secondaires.

Les émissions d'ammoniac totales provenant de l'agriculture suisse ont été déterminées pour les années 1990, 1995, 2002, 2007, 2010 et 2015. Pour 2002, 2007, 2010 et 2015 les paramètres importants liés aux techniques de production ont été répertoriés à l'aide d'enquêtes. 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 1950 exploitations en 2002, de 3133 exploitations en 2007, de 2957 exploitations en 2010 et de 2688 exploitations en 2015 ont été collectées. Pour chaque exploitation de l'échantillon, les émissions ont été calculées avec le modèle Agrammon. Les facteurs d'émission moyens qui en ont résulté (soit la quantité d'azote relâchée sous forme d'ammoniac par animal) pour 24 catégories d'animaux de rente de chaque classe d'exploitation 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 2015, les émissions d'ammoniac provenant de l'agriculture se montaient à 42,5 kt d'azote ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ). L'agriculture est ainsi le principal contributeur avec 93 % des émissions totales (45,9 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ ). Environ 3,2 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ , soit 7 % des émissions totales, provenaient de sources non agricoles (industrie/artisanat, trafic motorisé, ménages, gestion des déchets).

Au sein de l'agriculture, la production animale représentait la source majeure d'émissions, avec 93 %, des émissions agricoles totales (39,6 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ ). Les émissions issues de la production végétale se montaient à 2,9 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ . Les catégories bovins et porcs constituaient, avec 30,8 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$  et 5,9 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ , la partie la plus importante des émissions en production animale, soit respectivement 78 % et 15 % ; fig. R-1a). Les proportions des émissions produites par la volaille (1,6 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ , 4,0 %), les chevaux et autres équidés (0,6 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$  ; 1,4 %) et les petits ruminants (0,8 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$  ; 1,9 %) étaient relativement faibles. En 2015, l'épandage des engrangés de ferme ainsi que les stabulations/parcours extérieurs constituaient les sources majeures, soit respectivement 43 % et 37 % des émissions provenant de la production animale (fig. R-1b).

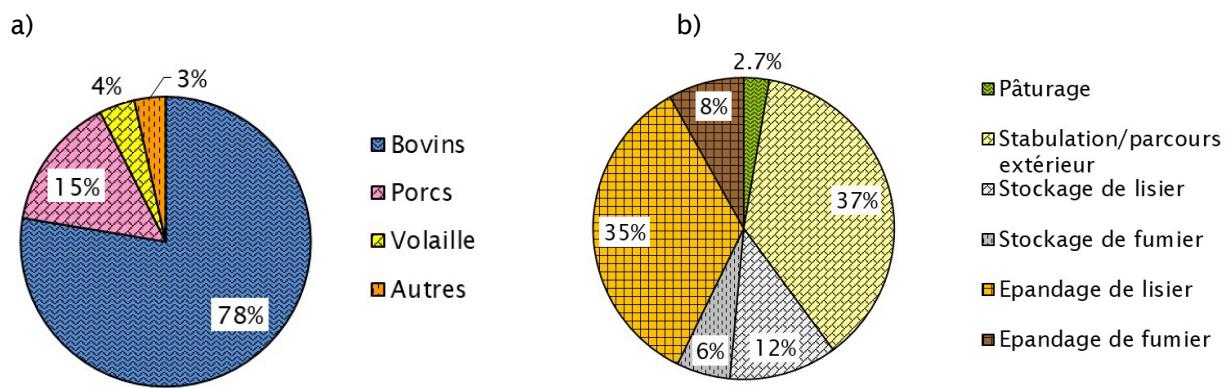


Fig. R-1: (a) contribution des principales catégories d'animaux aux émissions liées à la production animale en pourcentage ; (b) contribution des différentes sources dans les émissions liées à la production animale en pourcentage pour 2015.

Entre 1990 et 2015, les émissions totales ont diminué de 17 % et les émissions agricoles de 18%. Les émissions provenant de la production animale et de la production végétale ont reculé de 16% et 35%. Celles des bovins ont baissé de 14% et celles des porcs de 35%. Durant

la même période, les émissions de la volaille ont augmenté de 15 % et celles des autres animaux de rente de 37 % (tab. R-1).

Tab. R-1 : évolution des émissions d'ammoniac agricoles liées à la production animale et végétale entre 1990 et 2015, en kt NH<sub>3</sub>-N par an. Les cinq colonnes de droite indiquent le pourcentage d'évolution des émissions par rapport à l'année 1990. Un chiffre > 0 % correspond à une augmentation, un chiffre < 0 % à une réduction des émissions.

	1990	1995	2002	2007	2010	2015	1995	2002	2007	2010	2015
	kt NH <sub>3</sub> -N /a						%				
Bovins	35.9	34.7	29.9	31.9	31.3	30.8	-4%	-17%	-11%	-13%	-14%
Porcs	9.1	7.1	6.9	6.5	6.5	5.9	-22%	-25%	-29%	-29%	-35%
Volaille	1.4	1.3	1.2	1.3	1.5	1.6	-7%	-14%	-3%	6%	15%
Autres animaux de rente*	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.4	10%	26%	39%	48%	37%
Emissions de la production animale	47.4	44.2	39.2	41.1	40.8	39.6	-7%	-17%	-13%	-14%	-16%
Emissions de la production végétale	4.5	3.9	2.9	2.7	2.7	2.9	-12%	-36%	-41%	-41%	-35%
Total émissions agricoles	51.9	48.1	42.1	43.8	43.4	42.5	-7%	-19%	-16%	-16%	-18%
Total émissions non-agricoles	3.1	4.0	5.5	4.3	3.8	3.2	29%	79%	40%	23%	2%
Total émissions	55.0	52.1	47.6	48.1	47.2	45.7	-5%	-14%	-13%	-14%	-17%

\*Chevaux et autres équidés, petits ruminants, autres animaux consommant des fourrages grossiers (bisons, daim, cerf, lama, alpagas), lapins

Les émissions provenant des pâturages et celles issues de la stabulation et des parcours extérieurs ont quant à elles augmenté respectivement de 74 % et de 34 % entre 1990 et 2015. Les émissions du stockage des engrains de ferme ont diminué de 21 % et celles de l'épandage de 38 % (fig. R-2). En 1990, les émissions dues aux sources ponctuelles (stabulation/parcours extérieur, stockage) représentaient 41 % des émissions provenant de la production animale. Ce chiffre a atteint 54 % en 2015.

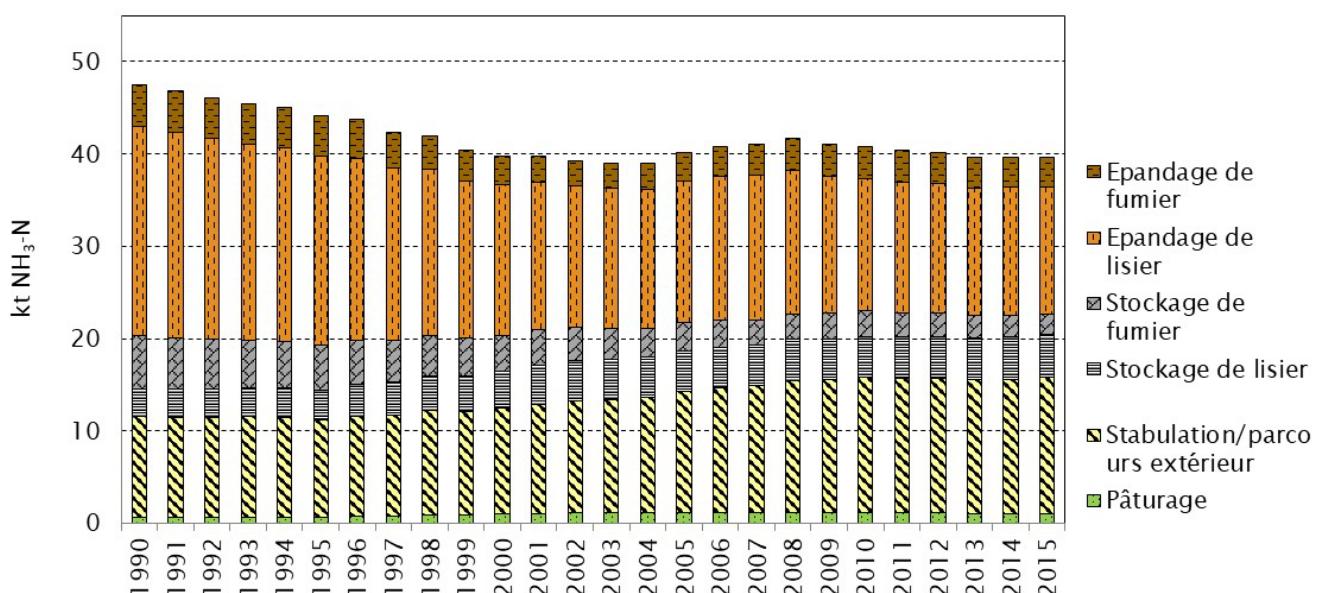


Fig. R-2 : Évolution des émissions d'ammoniac dues à la production animale entre 1990 et 2015, selon leur source (pâturage, stabulation/parcours extérieur, stockage des engrains de ferme, épandage des engrains de ferme), en kt NH<sub>3</sub>-N.

L'évolution des rejets de la production animale, qui baissent jusqu'en 2003 puis se stabilisent à peu près, s'explique en grande partie par l'évolution des cheptels et les modifications des techniques de production. L'augmentation des stabulations libres chez les bovins et des étables à aires multiples et parcours extérieurs dans l'élevage porcin, qui ont une surface émettrice plus

élevée que les systèmes habituels précédents, ont induit une hausse des émissions. La diminution du nombre de bovins et de porcs de 16 % et 18 %, qui a surtout eu lieu entre 1990 et 2000, ainsi qu'un recours plus fréquent au pâturage et aux techniques d'épandage de lisier pauvres en émissions, ont entraîné un recul de ces dernières. Les facteurs d'augmentation ou de réduction se sont en grande partie annulés durant la période étudiée, notamment à partir de l'année 2000. En l'absence de mesures de réduction, les rejets de NH<sub>3</sub> de l'agriculture auraient encore augmenté ces dernières années.

Les émissions sont calculées grâce à une nouvelle version du modèle Agrammon, qui tient compte des bases méthodologiques nationales et internationales actuelles. Voici les principaux changements par rapport à la version précédente :

- l'excrétion de N de quelques catégories d'animaux et la proportion de TAN (N soluble) dans les excréptions des bovins (vaches laitières et autres bovins) ont été révisées,
- les pertes en N sous forme de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), de monoxyde d'azote (NO) et d'azote élémentaire (N<sub>2</sub>) sont désormais utilisées pour corriger le flux de N,
- utilisation de taux d'émission différenciés par type d'engrais minéraux azotés,
- désormais, les émissions des sols agricoles et de la végétation ne sont plus prises en compte.

En raison de ces changements, les émissions sont moins élevées sur l'ensemble de la série qu'avec l'ancienne méthode de calcul. Pour 2015, il y a une différence de 5,1 kt NH<sub>3</sub>-N, soit -12 % par rapport à la version précédente du calcul.

L'évolution dans le temps des émissions mesurées depuis l'an 2000 concorde bien avec celle des modélisations entre 2002 et 2015. On peut en conclure que le modèle Agrammon permet bien de refléter l'évolution des émissions d'ammoniac agricoles.

## Summary

Within the framework of international agreements (UNECE), Switzerland is committed to periodically calculating its ammonia emissions and reporting the results. The aim of these agreements is to reduce both nitrogen inputs into natural and semi-natural ecosystems and the generation of secondary air pollutants.

The total agricultural ammonia emissions of Switzerland were calculated for 1990, 1995, 2002, 2007 and 2010. For the calculations of 2002, 2007 and 2010, 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 1,950 farms (2002), 3,133 farms (2007), 2,957 farms (2010) and 2,688 farms (2015) were evaluated. For each farm included in the sample, the ammonia emissions were individually calculated by means of the Agrammon model. The resulting average emission factors (i.e. the amount of nitrogen per animal emitted as ammonia, NH<sub>3</sub>) for 24 livestock categories of each farm class were used, together with the total number of livestock, to calculate the total national emissions. Additionally, the emissions from plant production and from non-agricultural were calculated. The relevant farm management parameters for 1990 and 1995 were based on data obtained from literature and on expert judgments.

In 2015, 42.5 kt of nitrogen (NH<sub>3</sub>-N) were emitted from agriculture as ammonia. With a proportion of 93%, agriculture was the major source of the total ammonia emissions (45.9 kt NH<sub>3</sub>-N). About 3.2 kt NH<sub>3</sub>-N (7% of total emissions) originated from non-agricultural sources (industry/trade, traffic, private households, waste management). Within the agricultural emissions, livestock production contributed the most important portion of the emissions with 93% (i.e. 39.6 kt NH<sub>3</sub>-N). The losses from plant production were 2.9 kt NH<sub>3</sub>-N. The cattle and pigs categories contributed most to the emissions from livestock (30.8 kt NH<sub>3</sub>-N and 5.9 kt NH<sub>3</sub>-N, respectively, and 78% and 15%, respectively, of the total emissions from livestock; Fig. S-1a). The proportions of poultry (1.6 kt NH<sub>3</sub>-N, 4.0%), horses and other equids (0.6 kt NH<sub>3</sub>-N, 1.4%) and small ruminants (0.8 kt NH<sub>3</sub>-N, 1.9%) were relatively low. Manure spreading and housing/exercise yards were the most important emission stages, contributing 43% and 37%, respectively, to the emissions from livestock (Fig. S-1b).

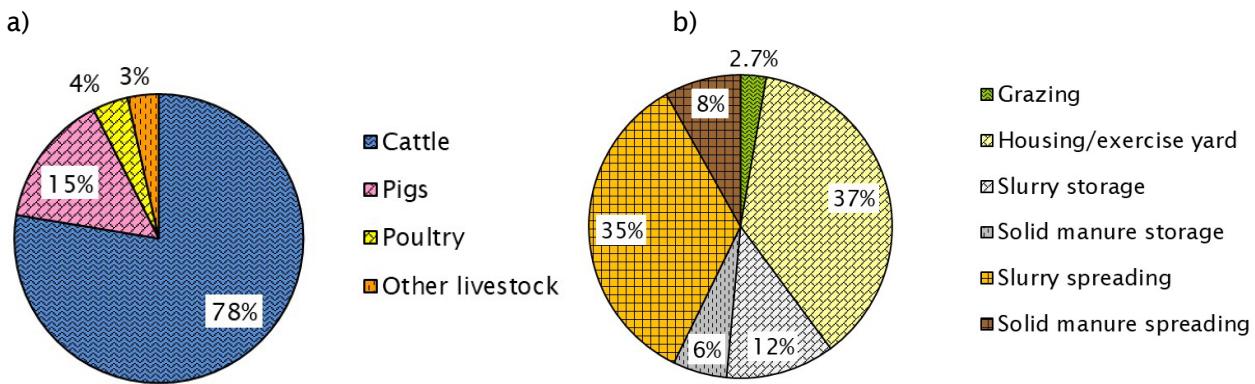


Fig. S-1: (a) Percentage contributions of the main livestock categories to the livestock emissions, and (b) percentage contributions of the different emission stages to the livestock emissions in 2015.

Total emissions decreased by 17% and agricultural emissions by 18% between 1990 and 2015. In this period, the losses from livestock and from plant production were reduced by 16% and by 35%, respectively. The decline of the emissions was 14% for cattle and 35% for pigs. Conversely, ammonia emissions increased by 15% for poultry and by 37% for the other livestock categories (Table S-1).

Table S-1: Evolution of the agricultural ammonia emissions from livestock and plant production between 1990 and 2015, in kt NH<sub>3</sub>-N per year. The five columns on the right show the relative change of

the emissions as compared to the base year 1990 in percent. A number > 0% indicates an increase and a number < 0% a decrease in emissions.

	1990	1995	2002	2007	2010	2015	1995	2002	2007	2010	2015
	kt NH <sub>3</sub> -N /a						%				
Cattle	35.9	34.7	29.9	31.9	31.3	30.8	-4%	-17%	-11%	-13%	-14%
Pigs	9.1	7.1	6.9	6.5	6.5	5.9	-22%	-25%	-29%	-29%	-35%
Poultry<	1.4	1.3	1.2	1.3	1.5	1.6	-7%	-14%	-3%	6%	15%
Other livestock categories*	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.4	10%	26%	39%	48%	37%
Emissions livestock	47.4	44.2	39.2	41.1	40.8	39.6	-7%	-17%	-13%	-14%	-16%
Emissions plant production	4.5	3.9	2.9	2.7	2.7	2.9	-12%	-36%	-41%	-41%	-35%
Total agricultural emissions	51.9	48.1	42.1	43.8	43.4	42.5	-7%	-19%	-16%	-16%	-18%
Total non-agricultural emissions	3.1	4.0	5.5	4.3	3.8	3.2	29%	79%	40%	23%	2%
Total emissions	55.0	52.1	47.6	48.1	47.2	45.7	-5%	-14%	-13%	-14%	-17%

\*horses and other equids, small ruminants, other roughage consuming animals (bisons, fallow deer, red deer, lama, alpaca), rabbits

Emissions originating from grazing increased by 74% and from housing/exercise yard by 34%. The proportions of the emissions from manure storage and manure application were reduced by 21% and 38%, respectively (Fig. S-2). The contribution of emissions from point sources (housing/exercise yards and manure storage) relative to the total emissions from livestock production was 41% in 1990 and 54% in 2015, respectively.

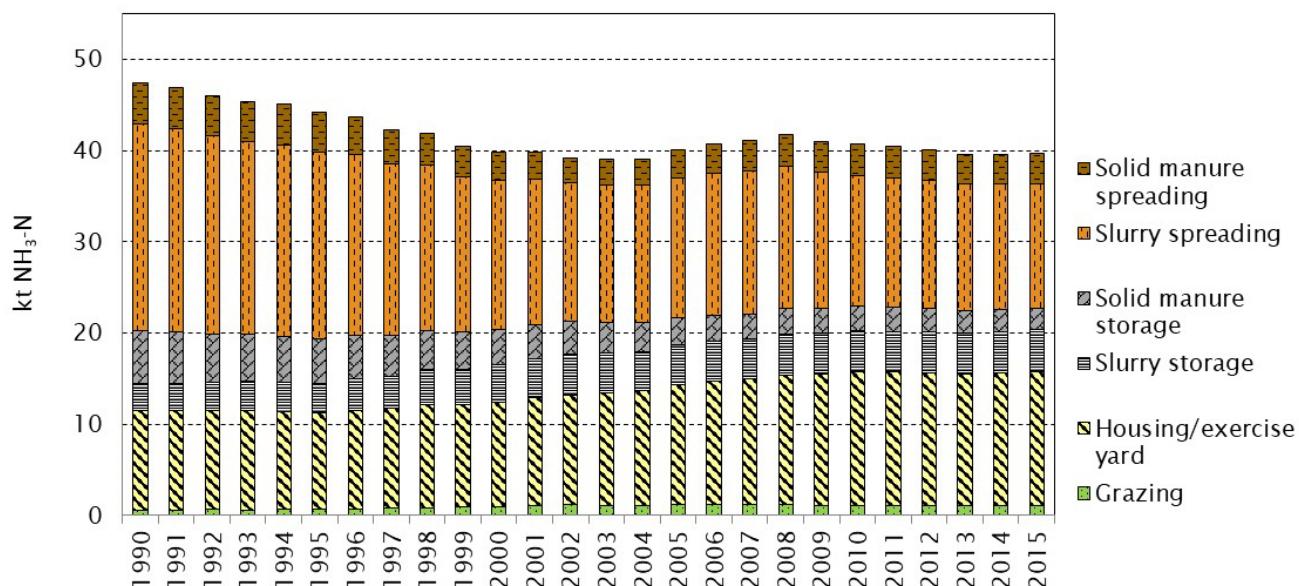


Fig. S-2: Evolution of the ammonia emissions from livestock production between 1990 and 2015 from the emission stages grazing, housing/exercise yard, manure storage and manure spreading in kt NH<sub>3</sub>-N.

The development of emissions from livestock show a decrease until 2003. From this year onwards, the losses remained at a relatively constant level. This trend can be explained mostly by the evolution of the number of livestock and changes in production techniques. The increase of loose housing systems for cattle and of housing types with multi-area pen and littered areas or combined lying-feeding cubicles connected to an outside yard for pigs, which have much larger emitting surfaces compared to older systems, led to higher emissions. The decrease in the numbers for cattle and pigs by 16% and 18%, respectively, which mainly occurred between 1990 and 2000, induced an emission reduction. The same applies to the increase in low-emission techniques for slurry application. Those factors yielding an

emission reduction or increase largely compensated each other during the investigated period. Without implementation of emission mitigation measures, the losses of NH<sub>3</sub> from agriculture would have increased over the last years.

The emission calculation was carried out with a new version of the Agrammon model. It considers the current national and international methodological basis which has the following modifications:

- N-excretion of some livestock categories and proportion of TAN in the excretions of cattle (dairy cows, other cattle),
- Losses of N due to nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), nitrogen monoxide (NO) and diatomic nitrogen (N<sub>2</sub>) are used to correct the N-flow,
- Emission rates of mineral N-fertilizers: use of differentiated emission rates according to the type of fertilizer,
- Emissions from agricultural soils and from the canopy are no longer included.

Due to these modifications, the emissions over the entire time series are lower compared to earlier calculations. For 2015, the results differ by 5.1 kt NH<sub>3</sub>-N and 12% compared to the data generated with the previous version.

The temporal trend of the emission measurements carried out since 2000 comply well with the evolution of the emissions modelled for the period 2002 to 2015. It can thus be concluded that agricultural ammonia emissions are appropriately reflected in the data generated with the Agrammon model.